

**KEEFEKTIFAN EKSTRAK JAMUR ENDOFIT MANGROVE SEBAGAI
ANTIBAKTERI ALAMI TERHADAP *Vibrio alginolyticus* DAN *Photobacterium
damselae* spp.: STUDI DI HUTAN MANGROVE PETENGORAN,
PESAWARAN, LAMPUNG**

(Tesis)

Oleh

**VERLI DHARMAWATI
NPM 2120011006**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

KEEFEKTIFAN EKSTRAK JAMUR ENDOFIT MANGROVE SEBAGAI ANTIBAKTERI ALAMI TERHADAP *Vibrio alginolyticus* DAN *Photobacterium damsela* spp.: STUDI DI HUTAN MANGROVE PETENGORAN, PESAWARAN, LAMPUNG

Oleh

VERLI DHARMAWATI

Agen penyakit bakterial seperti bakteri *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp. telah ditemukan menginfeksi ikan budi daya laut seperti kakap putih bahkan sampai menimbulkan kematian. Eksplorasi alam guna mencari sumber senyawa antimikroba baru terutama hewan akuatik masih terus dilakukan terutama yang bersumber dari mikroba karena keragamannya yang tinggi namun belum banyak diteliti. Mikroba banyak ditemukan berasosiasi dengan biota laut dan tumbuhan di pesisir laut, seperti mangrove. Mangrove dikenal memiliki kandungan senyawa bioaktif yang berkhasiat sebagai antibakteri begitu pula dengan jamur endofit mangrove karena adanya transfer genetik antara jamur endofit dan inang. Ekstrak jamur endofit dengan konsentrasi 500 µg/disk dan 1000 µg/disk yang diteteskan pada *blank paper disc* untuk pengujian aktivitas antibakteri menggunakan metode *disc diffusion*. Hasil pengamatan diuji secara statistik deskriptif dengan ANOVA pada level signifikansi $p < 0,05$ menunjukkan bahwa aktivitas antibakteri terbaik terhadap *V. alginolyticus* dengan kategori “sedang” didapatkan dari 4SLB1-1 ($66,22 \pm 1,52\%$) pada konsentrasi 1000 µg/disk dan 4SLB1-4 ($65,01 \pm 1,33\%$) pada konsentrasi 1000 µg/disk. Aktivitas antibakteri terbaik terhadap *P. damsela* spp. dengan kategori “kuat” didapatkan dari 4SLB1-1 ($99,18 \pm 0,53\%$) pada konsentrasi 1000 µg/disk dan 4SLB1-4 ($95,54 \pm 2,19\%$) pada konsentrasi 1000 µg/disk. Identifikasi secara molekular menunjukkan bahwa isolat 4SLB1-1 memiliki kemiripan dengan jamur *Pestalotiopsis rhizophorae* dan 4SLB1-4 yang mirip dengan jamur *Nigrospora magnoliae*.

Kata kunci : *antibakteri, endofit, mangrove, patogen, akuatik, Lampung*

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF MANGROVE ENDOPHYTE FUNGAL EXTRACT AS NATURAL ANTIBACTERIAL AGAINST *Vibrio alginolyticus* AND *Photobacterium damsela* spp.: A STUDY IN PETENGORAN MANGROVE FOREST, PESAWARAN, LAMPUNG

By

VERLI DHARMAWATI

Bacterial disease agents such as bacteria *Vibrio alginolyticus* and *Photobacterium damsela* spp. have been found to infect marine farmed fish such as sea bass and even cause mortality. Exploration of nature to find sources of new antimicrobial compounds, especially aquatic animals, is still being carried out, especially those originating from microbes because of their high diversity but have yet to be widely studied. Microbes are associated with marine biota and plants on the sea coast, such as in mangroves. Previously, mangroves contained bioactive compounds that have antibacterial properties as well as mangrove endophytic fungi due to genetic transfer between endophytic fungi and the host. Endophytic fungal extract with a concentration of 500 µg/disk and 1000 µg/disk was dripped on a *blank paper disc* for testing antibacterial activity using the method of *disc diffusion*. The observation results were tested descriptively statistically with ANOVA at a significance level of $p < 0.05$. Best antibacterial activity against *V. alginolyticus* in the "medium" category were 4SLB1-1 ($66.22 \pm 1.52\%$) at a concentration of 1000 µg/disk and 4SLB1-4 ($65.01 \pm 1.33\%$) at a concentration of 1000 µg/disk. Best antibacterial activity against *P. damsela* spp. in the "strong" category were 4SLB1-1 ($99.18 \pm 0.53\%$) at a concentration of 1000 µg/disk and 4SLB1-4 ($95.54 \pm 2.19\%$) at a concentration of 1000 µg/disk. Molecular identification showed that isolate 4 SLB1-1 had similarities to fungi *Pestalotiopsis rhizophorae* and 4SLB1-4 had similarity with fungi *Nigrospora magnoliae*.

Keywords: *antibacterial, endophytic, mangrove, pathogenic, aquatic, Lampung*

**KEEFEKTIFAN EKSTRAK JAMUR ENDOFIT MANGROVE SEBAGAI
ANTIBAKTERI ALAMI TERHADAP *Vibrio alginolyticus* DAN
Photobacterium damsela spp.: STUDI DI HUTAN MANGROVE
PETENGORAN, PESAWARAN, LAMPUNG**

Oleh

VERLI DHARMAWATI

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER LINGKUNGAN

Pada

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Tesis : KEEFEKTIFAN EKSTRAK JAMUR ENDOFIT
MANGROVE SEBAGAI ANTIBAKTERI ALAMI
TERHADAP *V.alginolyticus* DAN *Photobacterium
damselae* spp.: STUDI DI HUTAN MANGROVE
PETENGORAN, PESAWARAN, LAMPUNG

Nama Mahasiswa : Verli Dharmawati

Nomor Pokok Mahasiswa : 2120011006

Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Fakultas : Pascasarjana Multidisiplin



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc.
NIP 196103111988031001

Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.
NIP 196603051991032001

Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Si.
NIP.196505011989021001

2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Lampung

Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P., Ph.D.
NIP. 196906011998021002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc.

Sekretaris : Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.

Anggota : Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Si.

Penguji
Bukan Pembimbing : Dra. Endang Linirin Widiastuti, M.Sc., Ph.D.

Anggota : Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.

2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Tanggal Lulus Ujian Tesis : **30 September 2024**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul: **“KEEFEKTIFAN EKSTRAK JAMUR ENDOFIT MANGROVE SEBAGAI ANTIBAKTERI ALAMI TERHADAP *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp.: STUDI DI HUTAN MANGROVE PETENGORAN, PESAWARAN, LAMPUNG”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2024
Yang membuat pernyataan,



VERLI DHARMAWATI
NPM 2120011006

RIWAYAT HIDUP



Penulis Verli Dharmawati dilahirkan pada tanggal 24 Mei 1985 di Bogor. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Sudarman dan Ibu Siti Waltuti (Almh.). Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SDN Ciriung 02, Cibinong, Bogor. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 01 Cibinong, Bogor. Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 01 Bogor, Jawa Barat. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Indonesia, Jakarta. Saat ini penulis bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada tahun 2021 Penulis melanjutkan pendidikan Strata 2 pada Program Studi Magister Ilmu Lingkungan di Universitas Lampung. Selanjutnya penulis melakukan penelitian dengan judul “Keefektifan Ekstrak Jamur Endofit Mangrove sebagai Antibakteri Alami terhadap *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp.: Studi di Hutan Mangrove Petengoran, Pesawaran, Lampung”.

SANWACANA

Assalamu 'alaikum Warohmatullohi Wabarokatuh. Alhamdulillahirrabil 'alamiin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. karena berkat rahmat dan hidayat-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Keefektifan Antibakteri dari Ekstrak Jamur Endofit Mangrove terhadap *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp.: Studi di Hutan Mangrove Petengoran, Pesawaran, Lampung” sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Ilmu Lingkungan (S-2) di Fakultas Pascasarjana Multidisiplin, Universitas Lampung.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat, karena telah memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, dan motivasi dalam proses penyelesaian tesis ini. Berdasarkan hal tersebut, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Ibu Dr. Candra Perbawati, S.H., M.H., selaku Wakil Direktur Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Fitra Dharma, S.E., M.Si., selaku Wakil Direktur Bidang Umum Universitas Lampung;
5. Bapak Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung;

6. Bapak Dr. Gregorius Nugroho Susanto, S.Si., M.Sc., selaku pembimbing pertama atas ketersediaannya dalam memberikan motivasi, ilmu, gagasan, kritik, saran dan rela membagi waktunya untuk bimbingan secara *offline* maupun *online*, berkali-kali revisi, bapak penuh kesabaran menuntun penulis hingga menyelesaikan proses tesis.
7. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, S.Si., M.Sc selaku pembimbing kedua atas ketersediaan waktunya dalam memberikan bimbingan, dukungan, ilmu, serta motivasi selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan MIL.
8. Bapak Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Si., selaku pembimbing ketiga, atas semua dukungan, kritik dan saran, nasihat, kesabaran, serta arahan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis.
9. Dra. Endang Linirin Widiastuti, M.Sc., Ph.D. selaku penguji utama yang telah mencurahkan waktu, pikiran, dan telah membantu serta mendorong penulis dalam menyelesaikan tesis dengan baik.
10. Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si., selaku penguji kedua yang telah telah memberikan ilmu, kritik, saran, motivasi kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
11. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Magister Ilmu Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman selama penulis menuntut ilmu di Universitas Lampung.
12. Bapak Hernadi Susanto, S.H., dan Bapak Ardian Sanjaya, selaku tenaga kependidikan Jurusan Magister Ilmu Lingkungan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proses administrasi, serta banyak hal lainnya.
13. Badan Riset dan Inovasi Nasional, khususnya Pusat Riset Bioindustri Laut dan Darat yang telah memberikan dukungan dan kemudahan dalam pelaksanaan izin belajar hingga selesai.
14. Balai Besar Budidaya Laut Lampung, Bapak Mulyanto sebagai Kepala Balai yang telah memberikan izin penulis melakukan penelitian, Ibu Istiqomah dan tim yang telah membantu perizinan penelitian kemudian tim Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan (Bu Julinasari, Bu Rini, Bu Ana, Bu Arief, Mas Febri, Mas Hadi, Mba Nana, Ulfa, Fatimah, Mas Garbono, Mas Wahyu)

yang telah memberikan dukungan ilmu, sarana dan prasarana selama penulis melakukan penelitian.

15. Suamiku Ilham dan anak-anak tercinta, Dinda, Hafshah, dan Sabil yang merestui penulis untuk menjalani kehidupan kampus namun tidak pernah bosan dan lelah mendoakan dan mendampingi penulis dari awal perkuliahan, penelitian, hingga sidang akhir.
16. Bapak dan Ibu (almh.), mama dan papa, kakak-kakak dan adik-adik yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan pada penulis hingga akhir perkuliahan.
17. Teman - teman mahasiswa MIL, khususnya angkatan 2021, yang telah membersamai proses belajar, tugas, ujian dan sampai tugas akhir.
18. Teman Nandang sidang (Afifah, Fitra, Mba Dewi) yang selalu siap dan tanggap setiap mengerjakan tumpukan tugas kuliah, terutama Afifah sebagai adik, teman, pembimbing online, pendengar setia yang tak pernah lelah menyertai penulis hingga tersusunnya tugas akhir ini.

Penulis menyadari penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan, namun semoga karya ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Bandar Lampung, September 2024

Verli Dharmawati

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohiim

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT

Kupersembahkan karya ini teruntuk Ilham (Pong) suamiku dan anak-anakku tercinta Dinda, Hafshah dan Sabil.

Terima kasih tak terkira atas doa-doa yang selalu dipanjatkan, dukungan dan semangat yang diberikan dengan sabar dan tanpa lelah meluangkan waktu dan tenaga, terus mendampingi sejak awal perkuliahan, penelitian hingga penulisan Tesis ini.

Orang tuaku, Bapak dan Almh. Ibu yang tanpa lelah mendoakan dan memberikan restu di setiap langkahku sampai pada titik ini.

Papa dan Mama yang senantiasa mendoakan dan mendukungku menjalani perkuliahan hingga akhir.

Kakak-kakak dan adik-adikku yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan semangat hingga tersusunnya karya ini.

Seluruh dosen, keluarga besar, sahabat-sahabatku, Almamater tercinta,
Magister Ilmu Lingkungan
Fakultas Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung.

Jazakumullahu Khairan Katsiran wa Jazakumullah Ahsanal Jaza
(Semoga Allah SWT membalas kalian dengan kebaikan yang banyak
dan Semoga Allah SWT memberikan sebaik-baiknya balasan)

MOTTO

تَغْفُرُونَ وَلَا لِيْ وَاشْكُرُوا اَذْكُرْكُمْ فَاذْكُرُوْنِيْ

“Maka ingatlah kepada-Ku, Aku pun akan ingat kepadamu. Bersyukurlah kepada-Ku, dan janganlah kamu ingkar kepada-Ku.” (QS. Al-Baqarah Ayat 152)

تَنْفَدَ اَنْ قَبْلَ الْبَحْرِ لَنْفَدَ رَبِّيْ لَكَلِمَتِ اَمْدَادِ الْبَحْرِ كَانَ لَوْ قُلْ
اَمَدَدَ بِمِثْلِهِ جِنًا وَلَوْ رَبِّيْ كَلِمَتُ

Katakanlah (Muhammad), “Seandainya lautan menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, maka pasti habislah lautan itu sebelum selesai (penulisan) kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun Kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula).”

(Q.S Al-Kahfi Ayat 109)

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Manfaat penelitian	5
1.4. Kerangka Pikir	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Perikanan Budi daya dan Penyakit Ikan Budi daya	10
2.2. <i>Vibrio alginolyticus</i> dan <i>Photobacterium damsela</i> spp.	12
2.2.1. <i>Vibrio alginolyticus</i>	12
2.2.2. <i>Photobacterium damsela</i> spp.	14
2.3. Antibakteri dan AMR (<i>Antimicrobial Resistance</i>) pada Perikanan Budi daya	16
2.4. Mangrove Petengoran	19
2.4.1. Mangrove	19
2.4.2. Hutan Mangrove Petengoran	20
2.4.3. Fungsi Ekologis Mangrove	22
2.5. Jamur Endofit Mangrove	23
2.5.1. Jamur Endofit	23
2.5.2. Interaksi Jamur Endofit dan Inang	25
2.5.3. Jamur Endofit Mangrove dan Peranannya	27
2.6. Uji Aktivitas Antibakteri.....	30
2.6.1. Metode <i>Disk-Diffusion/ Cakram</i>	30
2.6.2. Metode Difusi Sumuran/ <i>Agar Well Diffusion</i>	31
2.6.3. Metode Difusi <i>Plug Agar / Agar Plug Diffusion</i>	31
III. METODE PENELITIAN	33
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.2. Alat dan bahan	33
3.2.1. Alat.....	33
3.2.2. Bahan.....	34
3.3. Rancangan Penelitian.....	35

3.4. Pelaksanaan.....	36
3.4.1. Pengambilan sampel.....	36
3.4.2. Sterilisasi Alat dan Bahan	37
3.4.3. Isolasi dan Purifikasi Jamur Endofit Mangrove.....	37
3.4.4. Skrining Aktivitas Antibakteri	39
3.4.5. Ekstraksi Jamur Potensial Antibakteri	40
3.4.6. Uji Aktivitas Antibakteri.....	40
3.4.7. Identifikasi Molekular Jamur Potensial	42
3.5. Alur penelitian	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Isolasi Jamur Endofit Mangrove	47
4.1.1. Isolat Jamur Endofit dari <i>Rhizophora mucronata</i> Lam.....	48
4.1.2. Isolat Jamur Endofit dari <i>Rhizophora apiculata</i> Blume.....	49
4.1.3. Isolat Jamur Endofit dari <i>Rhizophora stylosa</i> Griff.....	49
4.1.4. Isolat Jamur Endofit dari <i>Avicennia alba</i> Blume.....	50
4.1.5. Isolat Jamur Endofit dari <i>Bruguiera cylindrica</i> L.Blume.....	50
4.1.6. Isolat Jamur Endofit dari <i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C.B.Rob.....	50
4.1.7. Isolat Jamur Endofit dari <i>Scyphiphora hydrophyllacea</i> Gaertn.....	51
4.1.8. Isolat Jamur Endofit dari <i>Lumnitzera racemosa</i> Willd.....	51
4.1.9. Isolat Jamur Endofit dari <i>Excoecaria agallocha</i> L.....	52
4.1.10. Isolat Jamur Endofit dari <i>Sonneratia alba</i> J.Smith.....	52
4.1.11. Jumlah Isolat Jamur Endofit Hutan Mangrove Petengoran	53
4.2. Pengamatan Mikroskopis dan Makroskopis Jamur Endofit	55
4.2.1. Pengamatan pertumbuhan jamur.....	56
4.2.2. Ciri morfologi jamur secara makroskopis.....	58
4.2.3. Ciri Morfologi Jamur secara Mikroskopis	67
4.2.4. Komposisi Taksonomi Jamur Endofit Mangrove	77
4.3. <i>Screening</i> Antibiotik	82
4.3.1. <i>Vibrio alginolyticus</i>	82
4.3.2. <i>Photobacterium damsela</i> spp.	83
4.3.3. Ekstraksi Isolat Jamur (rendemen).....	85
4.4. Uji Aktivitas Antibakteri.....	85
4.5. Identifikasi Jamur Endofit secara Biomolekular.....	88
4.5.1. Data <i>sequencing</i> DNA Jamur Endofit Mangrove.....	89
4.5.2. Pohon Filogenetik	90
4.5.3. Peranan Mangrove sebagai Habitat Mikroba Potensial Penghasil Antibakteri pada Penyakit Ikan Laut	93
4.5.4. Pengelolaan Hutan Mangrove Petengoran Berkelanjutan sebagai Ekowisata.....	94
4.5.5. Pengelolaan Hutan Mangrove Petengoran Berkelanjutan dengan Silvofishery/Wanamina.....	96
V. KESIMPULAN DAN SARAN	98
5.1. Kesimpulan	98
5.2. Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....	100

LAMPIRAN	126
Lampiran 1. Pembuatan media.....	126
Lampiran 2. Perhitungan Konsentrasi Ekstrak Jamur Endofit Mangrove....	128
Lampiran 3. Protokol Ekstraksi DNA Jamur Endofit Mangrove.....	128
Lampiran 4. Pembuatan Gel Agarose 2 %.....	131
Lampiran 5. Hasil pencarian homolog sekuens DNA jamur dengan BLAST.....	132
Lampiran 6. Determinasi Spesies Mangrove	134
Lampiran 7. Foto Kegiatan Penelitian.....	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pikir Penelitian	9
2. Interaksi antara Host/Inang, Patogen/Agen dan Environment/Lingkungan Faktor Penyebab Penyakit.....	11
3. Perubahan patologis yang parah pada ikan yang terinfeksi <i>Vibrio</i> spp. (a) Penurunan sisik dan ulkus kulit (panah) pada bagian lateral perut ikan kerapu hibrida, <i>Epinephelus lanceolatus</i> × <i>E. fuscoguttatus</i> dan (b) Penurunan sisik dan <i>exophthalmia</i> (panah) pada ikan kakap merah, <i>Lutjanus</i> sp. (Manchanayake <i>et al.</i> , 2023)	13
4. Morfologi dan struktur galur 16- 3 <i>V. alginolyticus</i> . (a) Mikrograf cahaya (1.000 ×). (b) Mikrograf elektron transmisi (6.000 ×). Panah menunjukkan flagel (Cao <i>et al.</i> , 2018).....	14
5. Mikrograf bakteri <i>Photobacterium damsela</i> e ikan (Shao <i>et al.</i> , 2019)	15
6. Pembengkakan limpa dan penyumbatan pada ikan Sea Bream (<i>Sparus aurata</i>) yang terinfeksi <i>Photobacterium damsela</i> e spp. (Lattos <i>et al.</i> , 2022)	16
7. Alur Penelitian	46
8. Lokasi Pengambilan Data Penelitian	48
9. Morfologi Ranting, daun, bunga, hipokotil, dan buah mangrove : <i>R. mucronata</i> (a); <i>R. apiculata</i> (b); <i>R. stylosa</i> (c); <i>Avicennia alba</i> (d); <i>Bruguiera cylindrica</i> (e); <i>Ceriops tagal</i> (f); <i>Scyphiphora hydrophyllacea</i> (g); <i>Lumnitzera racemosa</i> (h); <i>Excoeria agallocha</i> (i); <i>Sonneratia alba</i> (j).	54
10. Kurva Pertumbuhan Jamur Endofit Mangrove Petengoran pada Media Potato Dextrose Agar (PDA)	57
11. Komposisi Taksonomi Tingkat Filum Jamur Endofit Mangrove Petengoran	79
12. Frekuensi Relatif Isolat Jamur Endofit yang Teridentifikasi pada Kluster 2, 3, dan 4 di Hutan Mangrove Petengoran	79
13. Elektroforesis hasil analisis PCR isolat jamur endofit kode 17 (4SLB1-1) dan 18 (4SLB1-4)	89
14. Filogenetik Isolat Jamur Endofit Mangrove	91

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu Tentang Uji Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit Mangrove	28
2. Daftar Alat yang Digunakan dalam Penelitian.....	34
3. Daftar Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	35
4. Daftar Komposisi Reagen Amplifikasi DNA Jamur	43
5. Jumlah Isolat Jamur Endofit Mangrove Hutan Petengoran	53
6. Pengelompokan isolat jamur endofit berdasarkan ciri makroskopis.....	55
7. Hasil Pengukuran Diameter Pertumbuhan Jamur Endofit	56
8. Hasil Pengamatan Ciri Makroskopis Jamur Endofit Mangrove Petengoran.....	61
9. Daftar Ciri Mikroskopis Jamur Endofit Mangrove	68
10. Komposisi Taksonomi Jamur Endofit Mangrove Petengoran yang Teridentifikasi secara Makroskopis dan Mikroskopis	78
11. Laju Isolasi Jamur Endofit dari Hutan Mangrove Petengoran.....	81
12. Hasil Screening aktivitas antibakteri isolat jamur endofit mangrove terhadap <i>V. alginolyticus</i>	82
13. Hasil <i>Screening</i> aktivitas antibakteri isolat jamur endofit mangrove terhadap <i>Photobacterium damsela</i> spp.	83
14. Hasil Rendemen Ekstrak Etil Asetat dari 7 Isolat Jamur Endofit Terbaik berdasarkan <i>Screening</i> Uji Antibakteri terhadap <i>V. alginolyticus</i> dan <i>P. damsela</i> spp.	85
15. Hasil Pengujian Aktivitas Antibakteri 7 Besar Terbaik Ekstrak Isolat Jamur Endofit Mangrove terhadap <i>V. alginolyticus</i>	86
16. Hasil Pengujian Aktivitas Antibakteri 7 Besar Terbaik Ekstrak Isolat Jamur Endofit Mangrove terhadap <i>P. damsela</i> spp.....	87
17. BLAST Isolat Jamur Endofit 4SLB1-1 dan 4SLB1-4.....	90

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Sektor perikanan budi daya adalah salah satu sektor industri yang mengalami perkembangan pesat dalam satu dekade terakhir dibandingkan dengan perikanan tangkap yang cenderung mengalami stagnansi (Anderson *et al.*, 2017; Humairoh *et al.*, 2024). Produksi perikanan budi daya global pada tahun 2022 sebesar 94,4 juta ton mampu melampaui produksi perikanan tangkap yang sebelumnya merupakan produsen hewan akuatik terbesar (Sampson, 2024). Indonesia pun memiliki peluang besar meningkatkan produksi perikanan budi daya dengan potensi lahan budi daya perikanan sebesar 17,91 juta hektar dan sejalan dengan salah satu program ekonomi biru yang dicanangkan pemerintah melalui KKP pada tahun 2024, yaitu melakukan pengembangan perikanan budi daya di laut, pesisir, dan darat yang sebesar berkelanjutan (KKP, 2014; Puslitbang DPR RI, 2024). Lahan budi daya yang sudah termanfaatkan hanya sebesar 2,7 % dari potensi yang ada dengan rincian lahan budi daya laut sebesar 278.920 hektar, pemanfaatan lahan budi daya tambak 605.909 hektar, dan pemanfaatan lahan budi daya air tawar 316.446 hektar (KKP, 2020). Pemanfaatan lahan budi daya perikanan yang masih rendah dipengaruhi oleh beberapa kendala diantaranya produktivitas yang rendah, penyediaan benih unggul berkualitas yang tahan penyakit, pakan yang masih bergantung pada bahan baku impor, dan pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas budi daya perikanan (Rita & Dwi, 2023).

Provinsi Lampung berperan penting dalam mewujudkan peningkatan produksi perikanan budi daya di Indonesia dimana produksi perikanan pada tahun 2023 telah berhasil mencapai 343.000 ton (Diskominfotik, 2024). Salah satu lokasi budi daya perikanan yang potensial di Provinsi Lampung adalah Teluk Lampung. Teluk Lampung adalah sebuah teluk di perairan Selat Sunda yang berada di sebelah selatan Provinsi Lampung dan secara geografis melewati wilayah kota Bandar Lampung, Kabupaten Lampung Selatan, dan Kabupaten Pesawaran. Teluk Lampung memiliki keistimewaan dalam hal kesesuaiannya baik secara fisika, kimia, dan sosial ekonomi, sebagai lahan budi daya ikan laut terutama ikan kerapu di KJA (Kamil *et al.*, 2021; Hastari *et al.*, 2017). Namun kondisi saat ini Teluk Lampung telah banyak mengalami perubahan lahan dari wilayah pesisir yang kaya akan mangrove menjadi kawasan industri antara lain industri batubara, pembangkit listrik, pariwisata, pelabuhan niaga, perikanan dan pemukiman. Perairan Teluk Lampung mengalami peningkatan tekanan lingkungan akibat masuknya limbah dari berbagai kegiatan di kawasan-kawasan tersebut, baik berupa limbah organik dan limbah anorganik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa di sebagian perairan Teluk Lampung seperti Pulau Pasaran, Teluk Hurun, Ringgung, Pulau Pahawang, dan Pematang Pasir sudah memiliki kandungan nitrogen anorganik terlarut (DIN) dan fosfat yang melebihi baku mutu air laut yang aman untuk biota laut berdasarkan PP No.22 Tahun 2021 (Garbono *et al.*, 2024; Hastari *et al.*, 2017). Kondisi lingkungan perairan Teluk Lampung yang telah mengalami eutrofikasi akan menimbulkan banyak permasalahan bagi kehidupan biota di dalamnya dan berdampak pula bagi kehidupan manusia yang berada di sekitarnya.

Kondisi perairan yang mengalami kesuburan (*eutrofikasi*) akan memicu ledakan populasi plankton berbahaya seperti yang terjadi di Teluk Lampung yaitu dari jenis *Cochlodinium polykrikoides* sehingga menimbulkan kematian pada ikan budi daya (Estigade *et al.*, 2019). Plankton tersebut dapat menimbulkan keracunan pada manusia yang mengkonsumsi makanan laut yang mengandung plankton tersebut. Kandungan nutrien yang tinggi di perairan juga memicu terjangkitnya berbagai penyakit ikan budi daya seperti parasit, virus, dan bakteri. Penyebab penyakit infeksi pada ikan paling banyak terdiagnosa berasal dari bakteri (34 %),

virus (25%), protista (19%), dan metazoa (18%) (BBPBL Lampung, 2015; Lafferty *et al.*, 2015). Parasit pada ikan budi daya seperti kakap putih dan bawal bintang di Teluk Lampung antara lain *Benedenia* sp, *Uronema* sp, *Trichodina* sp, dan lain-lain. Bakteri yang sering ditemukan pada ikan budi daya yang dipelihara di perairan Teluk Lampung seperti bawal bintang, kakap putih, dan kobia yang sakit adalah *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahaemolyticus*, dan *Pseudomonas fluorescens* sedangkan virus yang ditemukan adalah VNN (Garbono *et al.*, 2024).

Penanganan dan penanggulangan penyakit *Vibriosis* baik pada ikan budi daya dan manusia masih mengandalkan pengobatan dengan terapi lebih dari satu jenis antibiotik (Robles *et al.*, 2016; Kumarage *et al.*, 2022; Sampaio *et al.*, 2022). Penelitian (Luu *et al.*, 2021) melaporkan bahwa pembudi daya ikan di Vietnam menggunakan antibiotik profilaksis walaupun tidak ada kejadian penyakit ikan sebagai tindakan pencegahan. Penggunaan antibiotik dalam bidang akuakultur menimbulkan beberapa permasalahan seperti adanya residu antibiotik pada produk perikanan dan lingkungan perairan budi daya yang tercemar antibiotik sehingga menyumbang adanya kasus *Anti Microbial Resistance* (AMR) (Lusiastuti, 2021; Schar *et al.*, 2021; Yuan *et al.*, 2019).

Penelitian (Lusiastuti, 2021; Yuan *et al.*, 2019) menyatakan bahwa banyak kasus penyalahgunaan dalam penggunaan antibiotik pada ikan budi daya seperti tidak menggunakan obat yang dianjurkan pemerintah, penggunaan yang terlalu lama (*overdose*) atau terlalu singkat (*underuse*) memakai antibiotik yang bukan untuk hewan akuatik, dan penggunaan antibiotik pada pakan dan air untuk membantu pertumbuhan sehingga berakibat pada munculnya patogen pada ikan yang resisten terhadap antimikroba. Kasus ditemukannya patogen ikan air tawar *Aeromonas hydrophila* yang resisten terhadap antibiotik di Pulau Jawa pada tahun 2021 menjadikan fenomena AMR dalam akuakultur perlu mendapatkan perhatian khusus (KKP, 2021; Lusiastuti, 2021). Penelitian tentang sumber antibiotik baru pada hewan akuatik menjadi penting untuk terus dilakukan dan perlu mendapat dukungan pemerintah.

Penemuan obat saat ini berfokus pada beberapa organisme seperti bakteri, jamur, spons, batuan karang, rumput laut, tumbuhan dan mikroorganisme yang berasosiasi dengannya sebagai sumber senyawa bioaktif (Kasanah *et al.*, 2022;

Warsidah *et al.*, 2023). Mikroorganisme yang berasosiasi dengan lingkungan laut seperti jamur endofit mangrove mendapat perhatian penting dalam penemuan sumber senyawa bioaktif dengan fungsi sebagai antivirus, antibakteri, antijamur, antidiabetes, antikanker, antioksidan, antituberkulosis dan fungsi kesehatan lainnya (Demers *et al.*, 2018; Strobel, 2018; Karpiński, 2019; Silva *et al.*, 2022). Jamur endofit juga dikenal sebagai sumber metabolit sekunder termasuk senyawa antibakteri seperti alkaloid, saponin, tanin, flavonoid, triterpenoid, fenol, sterol, antosianin, dan steroid (Suciatmih, 2015; Fajriani *et al.*, 2018; Vasundhara *et al.*, 2019).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa senyawa metabolit sekunder jamur endofit memberikan efek antibakteri terhadap beberapa bakteri patogen pada manusia dan biota perairan seperti *Shigella dysenteriae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella thypii*, *Vibrio cholerae*, *Stahpylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Vibrio harveyii*, *Streptococcusagalactiae*, *Aeromonas hydrophila*, and *Vibrio parahemolyticus* (Fitriana & Nurshitya, 2017; Hariati *et al.*, 2018; Lotlikar & Naik-Samant, 2020; Vittaya *et al.*, 2022).

Mangrove adalah salah satu kekayaan alam yang dimiliki Indonesia sebagai negara kepulauan yang menawarkan banyak jasa yang penting bagi kehidupan manusia dalam dimensi biologi, ekologi, fisik, dan sosial-ekonomi (Arfan *et al.*, 2024). Jasa ekologis penting yang dimiliki mangrove di bidang perikanan adalah membantu dalam memperbaiki kualitas air laut yang digunakan oleh tambak-tambak perikanan di wilayah pesisir. Selain itu mangrove juga sebagai tempat pembenihan, pemijahan, dan perkembangbiakan yang penting bagi spesies termasuk ikan, krustasea, mamalia, burung, reptil dan makrozoobentos. Walaupun demikian kondisi mangrove di Indonesia perlu diperhatikan keberlanjutannya karena jumlah rata-rata lahan mangrove yang berkurang (degradasi) pada satu dekade terakhir telah mencapai 21.000 hektar (Bakri *et al.*, 2023). Penelitian terkini menyatakan bahwa mangrove merupakan sumber penemuan obat-obatan baik dari mangrove itu sendiri ataupun dari mikroorganisme yang berasosiasi dengannya (Alam *et al.*, 2021). Pembuktian adanya jasa ekologis mangrove yang besar bagi kesehatan manusia dan hewan akuatik diharapkan dapat mengangkat isu rehabilitasi mangrove dan mendapat

perhatian lebih dari masyarakat setempat, dunia pendidikan, industri, dan pemerintah pusat maupun daerah.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian terkait pengujian aktivitas antibakteri jamur endofit pada mangrove memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi jamur endofit berpotensi sebagai antibakteri yang ditemukan pada bagian ranting tanaman mangrove di Hutan Mangrove Petengoran secara biologi molekular.
2. Menguji efektivitas antibakteri dari ekstrak jamur endofit mangrove di Hutan Mangrove Petengoran terhadap bakteri *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian dengan beberapa tujuan tersebut di atas diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat antara lain:

1. Manfaat teoritis
 - Memberikan informasi ilmiah terkait spesies jamur endofit dari mangrove yang berpotensi menghasilkan senyawa antibakteri terhadap bakteri patogen pada ikan budi daya laut.
 - Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang kemampuan senyawa metabolit jamur endofit dari mangrove yang tumbuh di Hutan Mangrove Petengoran sebagai antibakteri *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela*.
2. Manfaat Praktis
 - Memberikan informasi tentang potensi mangrove bagi kegiatan budi daya perikanan sehingga membuka wawasan dan saran untuk pengelola Hutan Mangrove Petengoran agar lebih mengoptimalkan perlindungan kawasan mangrove.

- Memberikan rekomendasi kebijakan pengelolaan mangrove guna peningkatan kebermanfaatannya bagi lingkungan.

1.4. Kerangka Pikir

Provinsi Lampung memiliki potensi kekayaan sumber daya perikanan yang besar terutama perikanan budi daya namun masih terkendala oleh beberapa faktor salah satunya kejadian penyakit ikan. Vibriosis adalah penyakit yang umum dihadapi pembudi daya karena menimbulkan kematian ikan hingga 100 %. Bakteri dari family *Vibrionaceae* diantaranya seperti seperti *Vibrio alginolyticus* sering menginfeksi ikan kakap putih di bak pemeliharaan dan kerapu macan di keramba jaring apung (KJA) perairan Teluk Hurun, Lampung dan *Photobacterium damsela* spp ditemukan menginfeksi ikan kakap putih di beberapa perairan di Indonesia. Penyakit bakterial pada ikan Bawal Bintang, Kakap Putih, Kakap Merah, dan Kerapu Kertang yang ditemukan di perairan Teluk Lampung disebabkan oleh bakteri *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahaemolyticus* dan *Pseudomonas fluorescens*.

Industri akuakultur yang berkembang pesat tidak terlepas dari penggunaan antibiotik dalam kegiatannya bahkan termasuk ke dalam salah satu sumber/reservoir pada fenomena *Anti Microbial Resistance* (AMR). Penyalahgunaan dan penggunaan berlebihan pada agen antibakteri pada layanan kesehatan dan agrikultur dianggap menjadi penyebab munculnya AMR. Fenomena AMR menjadi permasalahan kesehatan dunia yang besar karena berdampak langsung pada kesehatan manusia dan sektor lainnya seperti ekonomi. Dampak pada bidang kesehatan manusia, pengobatan penyakit infeksi akan membutuhkan waktu lebih lama karena menurunnya khasiat obat sehingga penyebaran penyakit bisa lebih cepat terjadi.

Beberapa bakteri patogen pada ikan dan dapat juga menginfeksi manusia ditemukan mengalami resistensi terhadap antibakteri. *Vibrio alginolyticus* yang diisolasi dari kekerangan di Korea sudah menunjukkan gejala resisten terhadap beberapa antibiotik yang biasa digunakan untuk pengobatan penyakit ikan. Bakteri *V. alginolyticus* yang diisolasi dari ikan

bawal bintang yang sakit di perairan Riau diketahui telah resisten terhadap Oksitetrasiklin . *Photobacterium damsela* spp. yang diisolasi dari beberapa spesies ikan laut di Perairan Yunani dilaporkan menunjukkan gejala resistan pada antibiotik streptomycin, sulfonamides, ampicillin, and novobiocin. Pencarian dan penelitian akan senyawa kimia yang memiliki aktivitas antibakteri terhadap patogen ikan budi daya saat ini sangat dibutuhkan untuk mengatasi fenomena AMR terutama yang bersumber dari laut dan sekitarnya.

Provinsi Lampung memiliki tutupan lahan mangrove Lampung cukup besar dimana sebaran mangrove berada di sepanjang 896 km dari total panjang pantai sepanjang 1.105 km dan berada di luar kawasan hutan. Data Kementerian Kelautan dan Perikanan menyatakan bahwa Kawasan mangrove di provinsi Lampung termasuk dalam kategori lebat. Mangrove tumbuh di daerah pesisir laut yang merupakan daerah peralihan ekosistem darat ke ekosistem laut yang memiliki keanekaragaman dalam bidang kimia, biologi dan mikroba. Salah satu mikroba yang berasosiasi dengan mangrove dan memiliki kemampuan menghasilkan senyawa bioaktif adalah jamur endofit. Jamur endofit adalah jamur yang hidup di dalam jaringan tubuh inangnya namun bersifat menguntungkan bahkan terjadi transfer materi genetik dari tubuh inang ke jamur endofit.

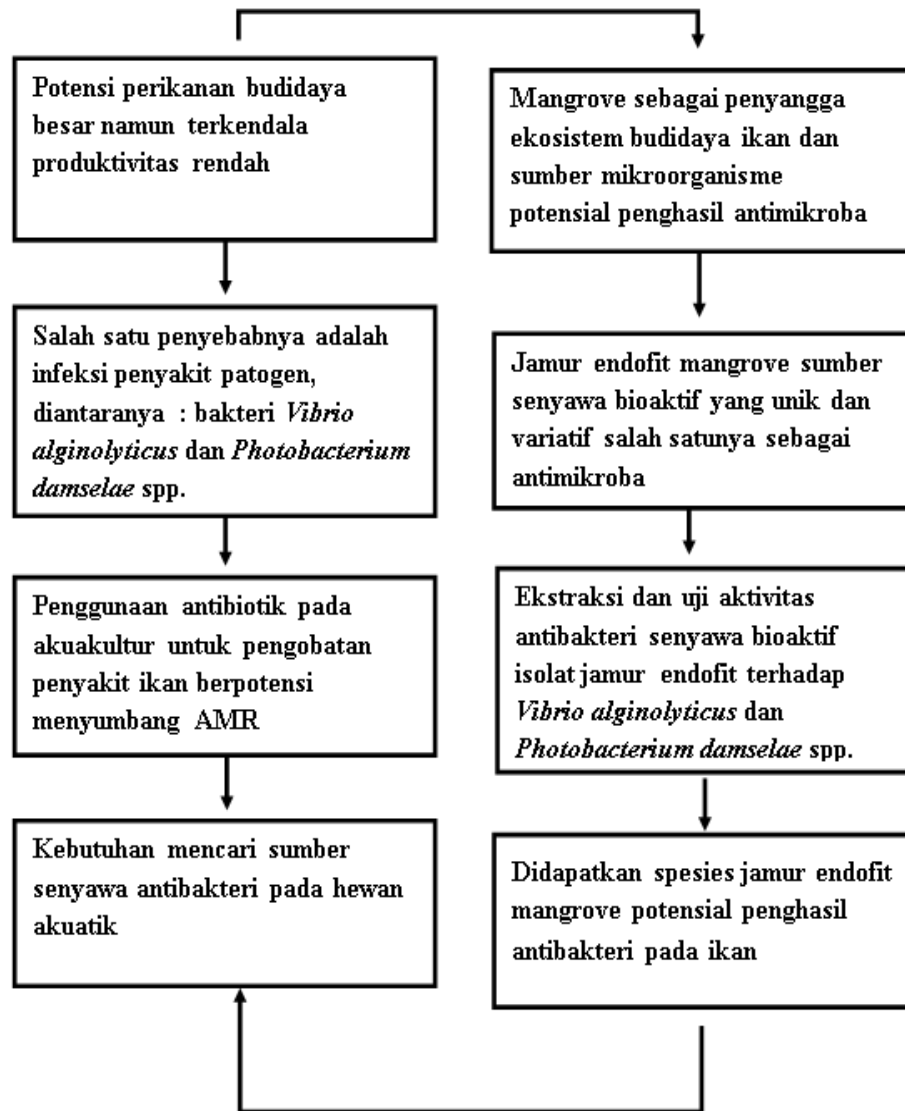
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi jamur endofit pada mangrove yang berada di Mangrove Petengoran, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung sebagai produsen senyawa antibakteri pada ikan laut, guna mendukung budi daya perikanan berkelanjutan. Hutan Mangrove Petengoran adalah salah satu hutan mangrove yang terletak di sepanjang pantai Teluk Lampung yang dekat dengan lokasi budi daya perikanan laut dan payau. Permasalahan di kawasan Teluk Lampung adalah kejadian penyakit ikan budi daya yang berujung kematian ikan sehingga menimbulkan kerugian ekonomi. Kejadian penyakit ikan juga bisa dipicu oleh penurunan kualitas lingkungan perairan budi daya di Teluk Lampung yang telah mengalami kenaikan tingkat kesuburan (eutrofikasi) terlihat dari kadar organofosfat yang sudah berada di atas baku mutu yang aman bagi biota laut.

Nilai indeks keberlanjutan ekologi hutan mangrove Petengoran cukup baik namun dipengaruhi oleh dua atribut paling sensitif yaitu tingkat rehabilitasi mangrove dan kerapatan mangrove. Indeks keberagaman jenis mangrove termasuk rendah hingga sedang dengan kerapatan vegetasi dalam kategori sedang atau tidak terlalu rapat. Hutan mangrove berperan penting dalam menyangga ekosistem perairan laut darat, dan payau seperti salah satunya sebagai habitat biota laut dan menyerap polutan di perairan. Hutan mangrove dikenal sebagai habitat bagi mikrobiota potensial penghasil antibakteri, salah satunya jamur endofit mangrove.

Pengujian aktivitas antibakteri dari jamur endofit mangrove dilakukan terhadap bakteri *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* yang diisolasi dari ikan budi daya laut. Efektivitas antibakteri ditentukan dengan mengamati diameter Zona Hambat/Zona Bening yang dihasilkan oleh ekstrak isolat jamur endofit mangroves. Metode ini dikenal dengan metode *Kirby-Bauer* atau metode difusi cakram. Semakin besar zona bening yang dihasilkan maka semakin besar peluang bagi jamur endofit sebagai kandidat sumber senyawa antibakteri.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana potensi jamur endofit yang diisolasi dari tumbuhan mangrove di Hutan Mangrove Petengoran sebagai antibakteri *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp.?”

Pendekatan masalah yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan dalam kerangka pikiran pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

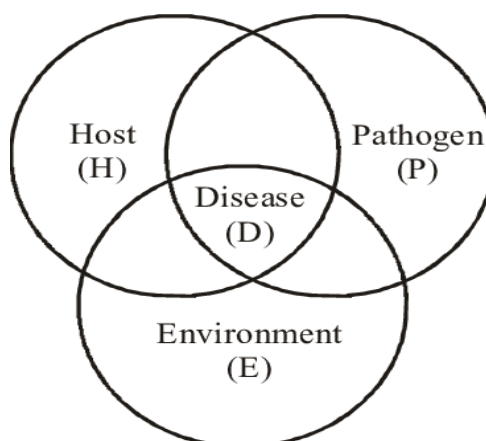
2.1. Perikanan Budi daya dan Penyakit Ikan Budi daya

Industri perikanan budi daya atau akuakultur adalah industri yang berkembang pesat diantara industri makanan lainnya karena menyediakan sumber protein hewani dan nabati seperti ikan, kekerangan, hewan akuatik lainnya dan rumput laut (Anderson *et al.*, 2017; FAO, 2024). *Food Association Organization* (FAO) menyatakan bahwa makanan laut adalah sumber protein utama di hampir seluruh dunia terutama negara berkembang dengan jumlah konsumsi pangan hewani akuatik secara global mencapai 162,5 juta ton pada tahun 2021. Indonesia berperan penting dalam industri akuakultur, sebagai negara penghasil biota akuatik terbesar dunia ke-3 menyumbangkan 7% total produksi dunia setelah China (36%) dan India (8%) (FAO, 2024; Sampson, 2024).

Sektor budi daya perikanan global akan terus meningkat hingga mencapai 205 juta ton pada tahun 2032 karena adanya peningkatan konsumsi pangan hewan akuatik yang juga bertambah hingga 20,7 kg per kapita pada tahun 2022. Industri perikanan budi daya akan berperan penting dalam pertahanan pangan dunia terutama sebagai sumber protein yang sesuai dengan pola hidup sehat dan untuk peningkatan gizi di dunia. Makanan akuatik menyediakan protein berkualitas tinggi yang terdiri dari 15 % protein hewani dan 6 % total protein di seluruh dunia juga termasuk nutrisi penting seperti asam lemak omega-3, mineral, dan vitamin. Industri budi daya perikanan berkelanjutan, perikanan yang dikelola secara efektif, dan rantai nilai yang memprioritaskan efisiensi, keselamatan, dan kesetaraan akan mendorong percepatan Transformasi Biru (*Blue Reformation*) untuk mengatasi ketahanan pangan dunia, mengakhiri kelaparan, kekurangan gizi, dan kemiskinan (FAO, 2023; Sampson, 2024).

Budi daya perikanan adalah industri yang terus didorong untuk berkembang secara teknologi dan jumlah produksi baik secara intensifikasi dan ekstensifikasi. Teknologi budi daya ikan secara intensifikasi yang menggunakan sistem penebaran ikan kepadatan tinggi menimbulkan permasalahan baru seperti munculnya infeksi penyakit ikan yang cepat menyebar dan menimbulkan kerugian ekonomi yang besar bisa mencapai beberapa milyar USD per tahun (Lattos *et al.*, 2022; Pérez *et al.*, 2018). Dalam kasus budi daya udang Asia, vibriosis telah dilaporkan menyebabkan kerugian sebesar USD 1 miliar. Pada tahun 1978, kerugian akibat vibriosis pada budi daya ikan ekor kuning (*Seriola quinqueradiata*) diperkirakan mencapai USD 4,4 juta di Jepang (Hajar *et al.*, 2021).

Kondisi lingkungan perairan baik darat dan laut yang terus mengalami penurunan kualitas juga menjadi faktor pendorong timbulnya penyakit pada ikan budi daya karena bergesernya kesetimbangan antara unsur lingkungan, host/inang, dan patogen. Jika salah satu faktor bergeser dari keseimbangan seperti halnya kondisi lingkungan yang buruk atau menurun akan melemahkan kondisi ikan sebagai inang dan memudahkan patogen untuk menyerang sehingga terjadilah kejadian penyakit ikan. Teori keseimbangan ini dicetuskan oleh John Gordon yang menunjukkan keseimbangan interaksi antara *host* (Inang), *disease* (penyakit), *pathogen* (agen penyakit) dan *environment* (lingkungan) seperti pada Gambar 2 (Raman *et al.*, 2013; Sari *et al.*, 2019).



Gambar 2. Interaksi antara Host/Inang, Patogen/Agen dan Environment/Lingkungan Faktor Penyebab Penyakit

Penyebab penyakit infeksi pada ikan paling banyak terdiagnosa berasal dari bakteri (34%), virus (25%), protista (19%), dan metazoa (18%) (Lafferty *et al.*, 2015). Bakteri yang berperan sebagai agen penyebab penyakit ikan merupakan bakteri yang bersifat patogen. bakteri patogen pada ikan yang paling banyak ditemukan diantaranya *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Flavobacteria* dan *Cytophage*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, dan bakteri lainnya (Austin & Austin, 2016).

2.2. *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp.

2.2.1. *Vibrio alginolyticus*

Vibrio adalah bakteri gram negatif yang tergabung dalam filum *Proteobacteria*, kelas *Gammaproteobacteria*, orde *Vibrionales* dan famili *Vibrionaceae* yang terdiri dari bakteri akuatik yang pada umumnya berada pada perairan hangat dan toleran dengan salinitas termasuk air tawar, payau, dan air laut. Famili *Vibrionaceae* terdiri atas genus *Aliivibrio*, *Catenococcus*, *Enterovibrio*, *Grimontia*, *Listonella*, *Photobacterium*, *Salinivibrio*, dan *Vibrio* dimana secara genomik, filogenetik, dan fungsi terpisahkan oleh bakteri motil bentuk koma- atau batang melengkung, kebanyakan flagelata polar. Kelompok bakteri ini merupakan bakteri heterotrof yang tersebar luas di perairan dan mempunyai relung (*niche*) di perairan tawar, estuaria, dan ekosistem laut begitu pula di sistem akuakultur dan berkontribusi pada siklus nutrien (Sampaio *et al.*, 2022).

Vibriosis telah menjadi salah satu ancaman dalam kegiatan akuakultur di dunia dengan berbagai spesies yang sering ditemukan menginfeksi biota perairan seperti *V. harveyi*, *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. vulnificus*, *V. anguillarum*, *V. salmonicida* dan *V. splendidus* (Farisi *et al.*, 2021). Adapun gejala Vibriosis yang menyerang ikan dan udang antara lain pertumbuhan yang lambat, perubahan warna kulit, terbentuknya jaringan nekrosis tambahan, dan gerakan yang tidak teratur (Kumarage *et al.*, 2022). Gambar 3 menunjukkan contoh ikan yang terserang oleh bakteri *Vibrio* spp. Yang mengalami kerusakan organ luar dan

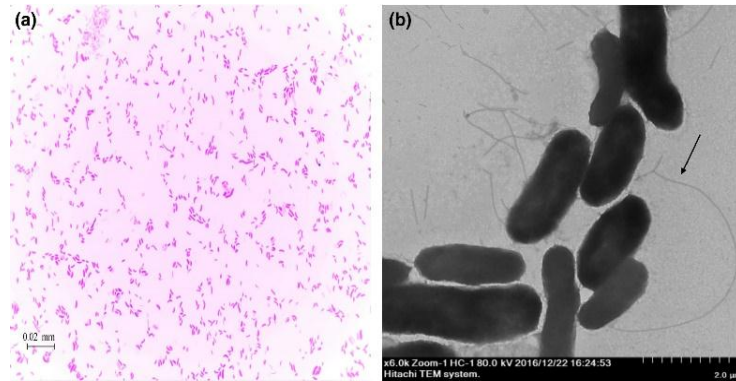
dalam. Bakteri *Vibrio* spp. juga dapat bersifat patogen pada manusia seperti *V. Cholera* yang menimbulkan penyakit kolera. *V. alginolyticus* juga dilaporkan telah menimbulkan infeksi pada rektum manusia dengan gejala seperti diare.



Gambar 3. Perubahan patologis yang parah pada ikan yang terinfeksi *Vibrio* spp. (a) Penurunan sisik dan ulkus kulit (panah) pada bagian lateral perut ikan kerapu hibrida, *Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus* dan (b) Penurunan sisik dan *exophthalmia* (panah) pada ikan kakap merah, *Lutjanus* sp. (Manchanayake *et al.*, 2023)

Vibrio alginolyticus adalah bakteri *Vibrio* yang bersifat *halofilik* dan sering ditemukan di perairan pantai dan sedimen di seluruh dunia, senang hidup di daerah tropis bersalinitas 5 – 25 ppt dan temperatur hangat pada 17 - 35°C (Ragab *et al.*, 2022). Gambar 4 menunjukkan mikrograf morfologi bakteri *V.alginolyticus*. Bakteri *V. alginolyticus* tidak hanya menginfeksi ikan laut dan kekerangan namun juga diduga kuat sebagai penyebab penyakit *gastroenteritis* parah dan penyakit *ekstraintestinal* (luka, infeksi intrakranial pada pasien *immunocompromised* dan sirosis) pada manusia yang mengonsumsi ikan dan kerang mentah atau setengah matang (Kusumaningsih & Diaris, 2021; Mohamad *et al.*, 2019). *V. alginolyticus* menyebabkan luka borok, hemoragik pada permukaan tubuh ikan *Asian seabass*

dan gejala lainnya seperti berenang lamban, eksoptalmia pada kedua mata, dan luka di permukaan tubuh pada benih ikan kobia (Rameshkumar *et al.*, 2013).



Gambar 4. Morfologi dan struktur galur 16- 3 *V. alginolyticus*. (a) Mikrograf cahaya ($1.000 \times$). (b) Mikrograf elektron transmisi ($6.000 \times$). Panah menunjukkan flagel (Cao *et al.*, 2018)

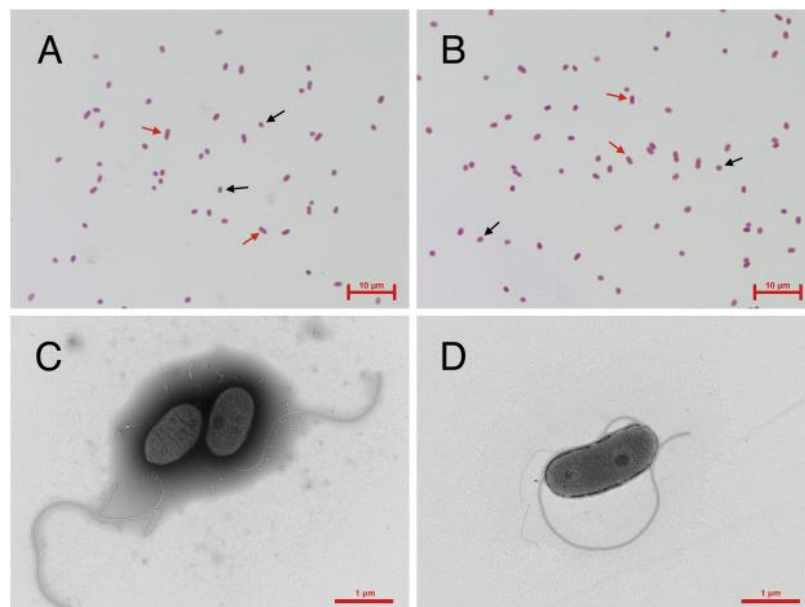
Vibrio spp. ditemukan telah mengalami resistensi terhadap beberapa kelas antimikroba dan beberapa isolatnya positif mengandung ARG (*Antimicrobial Resistance Genes*) atau gen pembawa sifat resisten antimikroba (Harpeni *et al.*, 2024; Muurinen *et al.*, 2022). Beberapa isolat bakteri *Vibrio* spp. yang diambil dari perairan estuaria tropis telah resisten terhadap carbapenems, cephalosporins, fluoroquinolon, sulfonamida, dan tetrasiklin sementara itu menunggu konfirmasi adanya gen resisten beta-laktamase spektrum diperluas (ESBL) pada *V. parahaemolyticus* dan *V. harveyi* (Z. M. Zhu *et al.*, 2018).

2.2.2. *Photobacterium damsela* spp.

Photobacterium damsela spp. juga merupakan bakteri patogen utama pada ikan yang menyebabkan penyakit mirip Vibriosis dengan gejala yang sama namun penyakit ini dinamakan *Photobacteriosis* (Gouife *et al.*, 2022). Bakteri *P. damsela* pertama kali diisolasi dari borok pada kulit Ikan Damsel (*Chromis punctipinnis*) (Love *et al.*, 1981). *P. damsela* kemudian ditemukan menginfeksi ikan Turbot (*Psetta maxima*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), ovate pompano (*Trachinotus ovatus*), eel (*Anguilla reinhardtii*), sea bream (*Sparus*

aurata), sea bass (*Dicentrarchus labrax*), yellowtail (*Seriola quinqueradiata*), redbanded seabream (*Pagrus Auriga*), white seabream (*Diplodus sargus*), and meagre (*Argyrosomus regius*) (Rivas *et al.*, 2013). *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* adalah agen penyebab *photobacteriosis* yang menyebabkan mortalitas sebesar 80-100 % pada ikan kobis dan kakap putih (T. H. Pham *et al.*, 2020). Bakteri patogen ini memiliki toksin yang menimbulkan kerusakan pada sel-sel tubuh ikan (Freitas *et al.*, 2022).

Photobacterium damsela spp. memiliki 2 subspecies yaitu *P. damsela* subsp. *damsela* yang dikenal sebagai bakteri oportunistik sehingga sering ditemukan menginfeksi ikan dan mamalia, termasuk manusia dan *P. damsela* subsp. *piscicida* yang menimbulkan septikemia serius (*pseudotuberculosis*) pada berbagai jenis ikan laut (Catanese & Grau, 2023). Gambar 5 menunjukkan mikrograf bakteri *P. damsela* spp pada ikan lain. Penyakit ikan yang ditimbulkan bakteri *P. damsela* subsp. *piscicida* mirip dengan Vibriosis dan telah menimbulkan banyak kerugian ekonomi yang serius di bidang perikanan budi daya laut karena penyebarannya yang luas dan sudah menunjukkan gejala resistensi terhadap antibiotik ditambah lagi belum tersedianya vaksin yang efektif (Andreoni & Magnani, 2014; Lattos *et al.*, 2022).



Gambar 5. Mikrograf bakteri *Photobacterium damsela* ikan (Shao *et al.*, 2019)

Bakteri *Vibrio* sp. dan *Photobacterium damsela* spp. merupakan bakteri dominan yang ditemukan menginfeksi ikan laut dengan prevalensi yang cukup besar seperti pada ikan *sea bream* (*Sparus aurata*) 44,47% dan 38,32 % pada ikan *sea bass* (*Dicentrarchus labrax*) (Essam *et al.*, 2016).



Gambar 6. Pembengkakan limpa dan penyumbatan pada ikan Sea Bream (*Sparus aurata*) yang terinfeksi *Photobacterium damsela* spp (Lattos *et al.*, 2022)

Organ dalam ikan yang diserang bakteri ini biasanya adalah limpa seperti yang terlihat pada Gambar 6 dimana limpa ikan sea bream mengalami pembengkakan dan penyumbatan.

2.3. Antibakteri dan AMR (*Antimicrobial Resistance*) pada Perikanan Budi daya

Antimikroba adalah obat-obatan yang memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan dan membunuh mikroorganisme lainnya (Zhang & Straight, 2019). Antimikroba termasuk di dalamnya antibakteri, anti jamur, antivirus, dan antiparasit adalah obat yang digunakan untuk mencegah dan mengobati penyakit infeksi pada manusia, hewan, dan tumbuhan (WHO, 2022).

Waksman (1947) mendefinisikan antibiotik sebagai senyawa kimia yang diproduksi oleh mikroorganisme yang memiliki kapasitas untuk menghambat pertumbuhan dan bahkan membunuh bakteri dan mikroorganisme lain. Saat ini antibiotik memiliki beberapa definisi antara lain : (1) senyawa organik baik dari alam atau sintetik murni yang mampu menghambat dan membunuh bakteri patogen; (2) semua substansi antimikroba atau (3) definisi menurut Waksman,

terbatas pada substansi antimikroba yang berasal dari mikroba (Bentley & Bennett, 2003). FAO mendefinisikan antibiotik sebagai obat yang berasal dari alam atau sintetis, dengan kemampuan untuk menghambat pertumbuhan atau membunuh bakteri. Antibiotik yang cukup tidak beracun bagi inang digunakan sebagai agen kemoterapi dalam pengobatan penyakit menular pada manusia, hewan, dan tumbuhan (FAO, 2019).

Antimikroba dari bahan alam pertama kali dikembangkan oleh Alexander Fleming pada tahun 1928 ketika mengamati cawan petri berisi media agar dan bakteri yang ditumbuhi jamur. Bakteri tidak ditemukan dalam area yang ditumbuhi jamur tersebut menandakan adanya perlawanan jamur terhadap bakteri. Fleming secara tidak sengaja menemukan antibakteri alami pertama yaitu *Penicilin* yang dihasilkan oleh jamur *Penicilium* (Aharwal *et al.*, 2021). Teori ini juga dipengaruhi oleh ilmuwan pendahulunya, yaitu Louis Pasteur yang berteori bahwa Penyakit bakterial pertama kali dikenalkan oleh Louis Pasteur melalui Germ Theory 1860 yang menyatakan bahwa organisme mikroskopis yang spesifik dapat menyebabkan penyakit spesifik. Teori ini yang mendasari Koch menemukan bahwa bakteri spesifik akan menimbulkan penyakit spesifik (Gould, 2016). Senyawa antibiotik dari alam ini kemudian diperbanyak dengan cara meniru senyawa kimia tersebut (sintetik). Setiap ilmuwan menemukan senyawa antibiotik baru tidak membutuhkan waktu yang lama untuk muncul resistensi pada bakteri terhadap obat tersebut. Kebutuhan akan penemuan agen antibiotik baru sangat besar terutama yang bersumber dari alam.

Anti Microbial Resistance (AMR) atau Resistensi Antimikroba terjadi ketika bakteri, virus, jamur dan parasit terus mengalami perubahan seiring dengan waktu (evolusi dan mutasi) sehingga tidak lagi bereaksi terhadap antimikroba yang diberikan (WHO, 2022). Pendorong utama resistensi antimikroba meliputi penyalahgunaan dan penggunaan antimikroba yang berlebihan; kurangnya akses ke air bersih, sanitasi dan kebersihan (WASH) baik untuk manusia maupun hewan; pencegahan dan pengendalian infeksi dan penyakit yang buruk di fasilitas layanan kesehatan dan peternakan; akses yang buruk terhadap obat-obatan, vaksin, dan diagnostik yang berkualitas dan terjangkau; kurangnya kesadaran dan pengetahuan; dan kurangnya penegakan hukum (FAO, 2022).

Dampak dari AMR adalah penyakit infeksi membutuhkan waktu yang lama untuk disembuhkan, penyakit semakin sulit dilawan dan penyebaran penyakit semakin sulit dikendalikan. AMR memberikan dampak negatif antara lain seperti pemberian obat-obatan menjadi tidak efektif, infeksi penyakit akan tertahan lama di dalam tubuh dan timbulnya peningkatan resiko penyebaran penyakit kepada pihak lain (Dadgostar, 2019). AMR merupakan masalah kesehatan yang harus diatasi secara multidisiplin ilmu karena bakteri yang resisten antibiotik dapat menyebar di antara hewan ternak dan manusia melalui kontak langsung atau melalui rantai makanan dan lingkungan (Pham *et al.*, 2015).

Produksi perikanan budi daya masih bergantung pada penggunaan antimikroba terutama antibiotik untuk pencegahan penyakit, pengobatan, dan membantu mempercepat pertumbuhan (*growth promotor*) (Luu *et al.*, 2021). Intensitas pemakaian yang tinggi serta penggunaan tanpa diagnosa yang tepat dan pembelian antibiotik tanpa resep telah memicu terjadinya AMR pada perikanan budi daya. Residu antibiotik yang tertinggal pada produk perikanan juga dapat menimbulkan ancaman kesehatan bagi manusia yang mengkonsumsinya walaupun masih terbatas pada negara-negara maju yang memperhatikan hal tersebut.

Kasus AMR berdampak serius terhadap kegiatan perikanan budi daya terutama dalam hal keberlanjutan sektor perikanan dan juga kesehatan lingkungan. Penggunaan antibiotik yang berlebihan dan tidak sesuai petunjuk akan menimbulkan resistensi pada beberapa bakteri patogen yang menyerang ikan budi daya (Hossain *et al.*, 2022). Resistensi antimikroba merupakan fenomena genetik yang diinduksi oleh gen pada bakteri yang dapat mencegah aktivitas antimikroba, dan gen ini dikenal sebagai ARG (Gao *et al.*, 2018).

Residu antibiotik dapat mencemari lingkungan perairan budi daya dan lingkungan di sekitarnya (Tang *et al.*, 2022). Lingkungan akuatik ini berfungsi sebagai reservoir utama gen resisten antimikroba dan mempromosikan transfer spesies bakteri resisten antimikroba ke hewan akuatik dan manusia melalui rantai makanan akuatik (Kumarage *et al.*, 2022). Penyakit bakterial akan lebih lama dan sulit disembuhkan jika bakteri patogen tersebut sudah mengalami resisten

terhadap antibiotik (Nwobodo *et al.*, 2022). Dampak selanjutnya yang lebih besar adalah kegagalan panen sehingga kerugian ekonomi pun tidak bisa dihindarkan.

Pemerintah Indonesia berupaya agar AMR dalam akuakultur dapat teratasi dengan baik melalui beberapa kebijakan yang diterbitkan. Dasar peraturan tentang AMR di nasional bersumber dari Instruksi Presiden No. 4 Tahun 2019 Tentang Peningkatan Kemampuan Dalam Mencegah, Mendeteksi, Merespon Wabah Penyakit, Pandemi Global, dan Kedaruratan Nuklir, Biologi dan Kimia. Inpres diturunkan ke dalam Permenko PMK No 7 Tahun 2021 Tentang Rencana Aksi Nasional Pengendalian Resistensi Antimikroba Tahun 2020-2024 dan peraturan di lingkup KKP berupa Keputusan Direktorat Jenderal Perikanan Budi daya (Kepdirjen PB) No. 68 Th. 2022 Tentang Rencana Surveilans Resistensi Antimikroba (*Antimicrobial Resistance*) Tahun 2022 dan Kepdirjen PB No. 69 Tahun 2022 Tentang Tim Pengendalian Resistensi Antimikroba Perikanan Budi daya.

Salah satu upaya mencegah fenomena AMR pada perikanan budi daya adalah dengan menemukan sumber antibakteri khusus untuk hewan akuatik yang dapat diperoleh dari lingkungan sekitar budi daya seperti halnya habitat hutan mangrove.

2.4. Mangrove Petengoran

2.4.1. Mangrove

Hutan mangrove dapat didefinisikan sebagai salah satu tipe hutan yang tumbuh di daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut seperti di daerah pantai, laguna, dan muara sungai yang terlindung sehingga komunitas tumbuhannya tahan terhadap air garam/salin (Kusmana *et al.*, 2008). Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki jumlah pulau sebanyak 16.766 yang terdiri atas pulau besar dan kecil sehingga garis pantai yang dimiliki sepanjang 108.000 km (BPS, 2021). Indonesia juga merupakan negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada. Peta Mangrove Nasional yang dirilis oleh Kementerian lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia Tahun 2021

menyatakan bahwa luas lahan mangrove di Indonesia adalah 3.364.076 hektar (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023).

Indonesia dikenal sebagai negara tropis dengan keekaragaman jenis mangrove yang tinggi terdiri dari 202 spesies yang terdiri dari 89 jenis pohon, 5 jenis palma, 15 jenis pemanjat, 44 jenis herba tanah, 44 jenis epifit, dan 1 jenis paku. Spesies mangrove tersebut ada yang termasuk dalam mangrove sejati (*true mangrove*) dan mangrove ikutan (*asociate mangrove*).

Hutan mangrove yang ada di Indonesia sejumlah 70% memiliki karakteristik sebagai sumber daya milik bersama (*Common Pool Resources/CPRs*). Kondisi tersebut memerlukan pendekatan pengelolaan dengan memperhatikan tiga aspek yaitu aspek karakteristik sumberdaya, aturan main yang diterapkan, dan keterlibatan sumberdaya manusia yang terlibat dalam pengelolaan (Kustanti *et al.*, 2015). Peraturan yang memadai diperlukan agar pengelolaan hutan mangrove tetap lestari dan tetap mempertahankan peranan alaminya seperti habitat biota akuatik, tempat berkembangnya benih ikan, menjaga kestabilan garis pantai, mencegah intrusi air laut ke daratan, melindungi daerah di belakang mangrove dari hempasan gelombang, menyerap dan menyimpan karbon, dan menjadi objek ekowisata (Widyaputri *et al.*, 2022).

2.4.2. Hutan Mangrove Petengoran

Hutan mangrove Petengoran terletak di Desa Gebang, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, Indonesia yang telah disahkan oleh Peraturan Desa (Perdes) Nomor 1 Tahun 2016 (Dinas Pariwisata Kabupaten Pesawaran, 2021). Pembentukan hutan ini dimulai pada tahun 2011 dimana terjadi wabah malaria yang diakibatkan oleh penebangan mangrove untuk pembukaan lahan tambak udang. Kesadaran warga setempat untuk memulihkan hutan mangrove didukung oleh beberapa pihak luar yang juga memiliki kesadaran menjaga hutan mangrove. Pengelolaan hutan mangrove Petengoran diarahkan menjadi kawasan ekowisata dengan Bapak Tony Yulizar sebagai ketua pengelola dan pelestari hutan mangrove. Anggota pengelola kawasan ekowisata hutan mangrove ini terdiri dari 4 orang dan 6 orang anggota pelestari. Masyarakat Desa

Gebang juga ikut dalam pengelolaan mangrove Petengoran dengan tergabung dalam kelompok pelestari mangrove. Pelestari mangrove memiliki tugas untuk melakukan pengkayaan mangrove dengan cara penanaman, perawatan, dan monitoring mangrove (Widyaputri *et al.*, 2022).

Kerjasama pengelolaan kawasan hutan mangrove dalam rangka pemulihan hutan dengan PT Mitra Bentala dilakukan pada tahun 2011-2017. Kemudian PT Japfa Comfeed bekerja sama dengan kawasan hutan mangrove Petengoran pada tahun 2017-2020 sebagai bentuk *Corporate Social Responsibility* (CSR). Setelah bekerja sama dengan kedua pihak luar tersebut pengelolaan kawasan hutan mangrove Petengoran diarahkan menjadi kawasan ekowisata dengan tujuan untuk meningkatkan pendapatan masyarakat sekaligus memberikan edukasi tentang pentingnya konservasi hutan mangrove kepada wisatawan maupun masyarakat sekitar. Potensi area penanaman mangrove di hutan mangrove Petengoran adalah 40 hektar. Beberapa lembaga pendidikan juga ikut berperan dalam perluasan area hutan mangrove dengan melakukan penanaman mangrove di area tersebut. Hutan mangrove Petengoran mulai ramai oleh pengunjung pada Tahun 2020-2021 sehingga perawatan mangrove perlu ditingkatkan agar tidak mengganggu kelestariannya (Tridawati & Novianti, 2023). Wawancara secara langsung dengan anggota pengelola, bapak Agus, diperoleh informasi bahwa pengelolaan mangrove pada tahun 2023 dilakukan secara mandiri oleh anggota pengelola dan pelestari yang merupakan warga sekitar sehingga pengembangan dan pemeliharaan sarana prasarana ekowisata terkendala oleh pendanaan yang hanya mengandalkan biaya masuk dari wisatawan sebesar 15.000 rupiah per orang. Saat ini pengelola kawasan ekowisata ini sedang mencari pihak luar yang ingin bekerja sama membangun dan mempertahankan kelestarian hutan mangrove Petengoran.

Hutan ini dikelola sebagai objek ekowisata pada tahun 2021 dengan luas lahan hutan mangrove sebesar 113 hektar yang terbagi ke dalam 4 klaster dimana klaster 1 adalah area paling luas yang dijadikan sebagai kawasan ekowisata. Klaster 2, 3, dan 4 belum dikelola secara optimal karena kurangnya sumber daya manusia. Vegetasi mangrove yang mendominasi di hutan ini adalah dari genus *Rhizophora* sp. dan *Avicennia* sp. sedangkan vegetasi minor yang ditemukan adalah *Ceriops* sp., *Excoecaria* sp., *Lumnitzera* sp., *Sonneratia* sp., dan *Nypa* sp.,

(Widyaputri *et al.*, 2022). Sanjaya *et al.*, (2022) melaporkan bahwa vegetasi mangrove yang ditanam di kawasan hutan mangrove petengoran tidak mengikuti sistem zonasi peruntukannya. Zonasi mangrove biasanya ditanami sesuai dengan spesies penyusun di kondisi alaminya. Penelitian (Octaviani & Sari, 2022) menunjukkan bahwa kawasan hutan mangrove petengoran didominasi oleh spesies *Rhizophora apiculata* dengan kerapatan jenis sebesar 325 ind/hektar. Indeks keanekaragaman jenis mangrove termasuk rendah hingga sedang (0,55-1,15) dengan kerapatan vegetasi dalam kategori sedang atau tidak terlalu padat (Cesarani *et al.*, 2023).

2.4.3. Fungsi Ekologis Mangrove

Fungsi hutan mangrove dapat diklasifikasikan menjadi fungsi fisik, biologis dan ekonomi. Dari segi fisik, mangrove melindungi pantai, mencegah intrusi air laut, menahan dan mengendapkan lumpur, melindungi pantai dari abrasi dan menyaring bahan pencemar. Secara biologis, hutan mangrove berfungsi sebagai tempat berkembang biaknya ikan, tempat bersarangnya burung, dan habitat alami berbagai jenis biota. Sementara itu, fungsi ekonomi hutan mangrove dapat dimanfaatkan sebagai sumber pendapatan warga sekitar dengan mengembangkannya menjadi kawasan ekowisata, pertanian, dan budi daya perikanan (Widyaputri *et al.*, 2022).

Pengelolaan ekowisata hutan mangrove diselenggarakan dengan memelihara keaslian alam dan lingkungan, menciptakan ketenangan, memelihara flora dan fauna, serta lingkungan hidup, sehingga tercipta keseimbangan antara kehidupan manusia dengan alam sekitarnya (Prasetyo *et al.*, 2019). Hutan mangrove dikenal masyarakat tradisional sebagai hutan penghasil tanaman obat. Penelitian (Supriyanto *et al.*, 2014) melaporkan bahwa beberapa spesies mangrove berikut memiliki khasiat sebagai tanaman obat, yantara lain: api-api (*Avicennia marina*) untuk obat rematik dan sakit gigi; jeruju (*Acanthus ilicifolius*) untuk obat kanker dan diabetes; nipa (*Nypa fruticans*) untuk obat asma dan diabetes; bakau (*Rhizophora apiculata*) untuk obat antiseptik; beluntas (*Pluchea*

indica) untuk bau badan; jenu (*Derris trifoliata*) untuk obat pencuci perut; dan tapak kuda (*Ipomoea pescaprae*) untuk obat luka dan bisul.

Tanaman mangrove merupakan tanaman yang aktif menghasilkan senyawa metabolit sekunder beberapa di antaranya berasal dari ekstrak daun, batang, dan akarnya. Penelitian (Effendi *et al.*, 2023) melaporkan bahwa ekstrak daun *Bruguiera gymnorrhiza* dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Aeromonas hydrophila*. Kemampuan mangrove menghasilkan metabolit sekunder dipengaruhi oleh faktor lingkungan biotik dan abiotik. Mangrove tumbuh di lingkungan pesisir yang ekstrim dan dipengaruhi oleh pasang-surut air laut mendorong adanya interaksi mangrove dengan biota sekitarnya termasuk mikrobiota untuk dapat bertahan hidup (simbiosis). Salah satu fenomena menarik yang sedang diteliti oleh banyak ilmuwan adalah simbiosis mutualisme yang terjadi antara mikroba endofit (bakteri, jamur) dengan mangrove menghasilkan kekayaan senyawa metabolit sekunder dengan berbagai bioaktivitas seperti antibakteri, antivirus, antimalaria, antioksidan, antikanker, dan lain-lain lainnya (Demers *et al.*, 2018; Karpiński, 2019; Silva *et al.*, 2022; Strobel, 2018).

2.5. Jamur Endofit Mangrove

2.5.1. Jamur Endofit

Alexopoulos dan Mims (1979) memasukkan jamur dalam kerajaan sendiri yaitu *Myceteae* atau *Fungi* yang terpisah dari Kingdom *Thallophyta*/tumbuhan karena tidak memiliki klorofil sehingga perlu mengurai bahan organik untuk tumbuh (Rochdjatun, 2011). Jamur memiliki 4 divisi dimana setiap divisi terbagi menjadi subdivisi, kelas, subkelas, dan bangsa. Kerajaan Jamur meliputi organisme eukariotik yang memegang peranan penting dalam lingkungan mikrobiota baik sebagai simbiosis, endofit, parasit, atau saprotrof (Bonfante *et al.*, 2019).

Endofit adalah semua organisme yang hidup berkolonisasi di bagian dalam jaringan tumbuhan baik berupa protista, bakteri, dan jamur tanpa menimbulkan

gejala penyakit pada inang. Organisme endofit yang lebih sering ditemukan adalah jamur dimana hampir pada semua tumbuhan terdapat jamur endofit (Carvalho *et al.*, 2021). Jamur endofit telah menjadi perhatian besar banyak peneliti dalam beberapa tahun terakhir karena kemampuannya untuk menghasilkan senyawa bioaktif baru. Jamur endofit tumbuh dalam jaringan tubuh inang tanpa menimbulkan penyakit atau gangguan fisiologis dan ekologis (Manganyi & Ateba, 2020).

Jamur endofit secara khas terdapat pada bagian intersellular (apoplast) atau intrasellular (simplast) dari beberapa jenis tumbuhan. Jamur endofit berinteraksi dengan tanaman dalam bentuk miselium dan hampir ditemukan pada semua jenis tumbuhan seperti pohon, rerumputan, ganggang, dan tumbuhan herbal (Rajamanikyam *et al.*, 2017). Kemunculan jamur endofit biasanya terdapat pada bagian organ spesifik tumbuhan seperti daun, batang daun, batang, akar tergantung pada hasil adaptasi mikroekologis dan fisiologi organ tersebut (Gupta *et al.*, 2020). Jamur endofit memiliki variasi jenis yang cukup banyak dan jarang yang bersifat mendominasi pada suatu tumbuhan inang. Setiap tumbuhan inang dapat memiliki jenis jamur endofit yang berbeda walaupun tumbuh pada habitat yang sama.

Jamur endofit hidup di dalam bagian tubuh inang, bersimbiosis dan dibagi ke dalam dua kelompok berdasarkan cara simbiosisnya yaitu jamur endofit *Clavicipitaceous* dan non-*Clavicipitaceous* (Rodriguez *et al.*, 2009). Kelompok jamur *Clavicipitaceous* terdiri atas jamur endofit kelas I yaitu kelompok jamur yang hidup bersimbiosis secara bebas, hidup di rumput musim dingin, dan menginfeksi bakal biji inang serta ditularkan secara vertikal ke keturunannya melalui benih inang. Jamur kelompok ini biasanya ditemukan di bagian rhizoma dan tunas inang. Kelompok jamur non *clavicipitaceous* terdiri dari jamur endofit kelas II, III, dan IV yang hidup pada tanaman non rumput (*Poaceae*), memiliki keanekaragaman hayati dan persebaran yang tinggi. Jamur endofit ini pada umumnya hidup dalam keadaan dorman atau non aktif tanpa merusak tanaman inang, sifatnya tidak berasosiasi kuat dengan tanaman inang. Namun pada saat tanaman inang mengalami perubahan secara kimia baik disebabkan oleh luka atau tekanan lingkungan maka jamur endofit dapat masuk melalui tunas atau rhizoma

inangnya. Jamur endofit kelas II berkolonisasi melalui akar, tunas, dan akar rimpang sedangkan jamur kelas III melalui tunas saja, jamur kelas IV melalui akar saja. Kelas II terdiri dari dykaria (Ascomycota dan Basidiomycota) (Terhonen *et al.*, 2019).

Jamur endofit ada yang termasuk ke dalam kelas Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota yang masing-masing berkembang biak secara aseksual dan seksual dengan bentuk struktur askospora, basidiospora, dan zygospora. Jamur endofit dapat berpindah tempat melalui beberapa cara baik vertikal dari induk kepada keturunannya dengan cara memasukkan hifa jamur ke dalam embrio benih maupun horizontal yang terjadi di antara individu tanaman melalui perkembangan spora baik seksual dan aseksual (Gupta *et al.*, 2020; Omomowo *et al.*, 2023).

2.5.2. Interaksi Jamur Endofit dan Inang

Jamur endofit berinteraksi dengan tanaman inang secara 3 tipe, yaitu mutualisme, komensalisme, dan patogenik (Alam *et al.*, 2021; Jha *et al.*, 2023). Interaksi mutualisme terjadi bila jamur endofit mampu mengubah jalur metabolisme tumbuhan inang pada saat terjadi tekanan lingkungan, membantu percepatan pertumbuhan inang, dan mendapatkan nutrisi. Sementara itu Jamur endofit juga mendapatkan manfaat dari tumbuhan inang berupa perlindungan dan nutrisi untuk perkembangbiakan dan menyelesaikan daur hidupnya. Interaksi komensalisme disebut juga patogenik laten yaitu interaksi jamur endofit dan tumbuhan inang terjadi namun tidak mendapatkan manfaat dan tidak membahayakan pada fisiologis inang. Interaksi patogenik terjadi bila kondisi lingkungan tidak mendukung sehingga jamur laten berubah aktif dan bersifat patogen dengan gejala yang jelas bahkan bisa menimbulkan kehancuran pada inang.

Penelitian (Jha *et al.*, 2023) menyatakan bahwa jamur endofit menghasilkan senyawa metabolit sekunder melalui interaksi molekular dengan tanaman inang (*host*). Pembentukan senyawa metabolit sekunder diatur oleh kelompok gen pembentuk senyawa metabolit yang dipengaruhi oleh beberapa

faktor antara lain transfer gen horizontal, faktor transkripsi, keberadaan molekul efektor dan pengelompokan gen.

Transfer genetik horizontal disebut juga transfer genetik lateral dimana material genetik berpindah dari satu organisme ke organisme lainnya seperti keturunannya tanpa melalui proses perkawinan. Fenomena ini merupakan salah satu bentuk evolusi adaptif unik dari protein efektor (molekul kecil yang secara selektif terikat pada protein untuk mengatur aktivitas biologinya) yang memungkinkan jamur endofit menyerang, menurunkan, dan memanipulasi organisme inang. Transfer genetik horizontal membantu dalam hal penemuan jalur metabolisme baru dan lengkap dengan mentransfer kelompok gen metabolisme dari organisme satu ke organisme lain (Ashar & Anum, 2022).

Faktor transkripsi terdiri dari dua kelompok yaitu faktor transkripsi domain sempit dan faktor transkripsi domain sempit dimana keduanya berfungsi mengatur kerja kelompok gen pada lokasi yang berbeda. Pada saat kondisi lingkungan mengancam inang maka faktor transkripsi gen domain luas akan mengirimkan sinyal ke faktor transkripsi gen domain sempit untuk mengaktifkan "gen diam" yang berhubungan dengan produksi senyawa metabolit sekunder tertentu (Manganyi & Ateba, 2020). Aktivasi gen tersebut dapat berupa jalur biokimia bervariasi atau turunan/kaskade biokimia tertentu. Adanya paparan jamur endofit dapat menimbulkan perubahan ekspresi gen pada mikroorganisme endofit dan tanaman inang. Perubahan ini disebabkan oleh interaksi genetik yang kompleks antara inang dan jamur endofit akibatnya terjadi perubahan ekspresi genom selama proses interferensi. Keberhasilan transfer genetik horizontal dapat terlihat dari terbentuknya metabolit *aurenitol* yang dihasilkan dari ekstrak jamur endofit *Chaetomium sp* dan ekstrak tumbuhan inang *Helichrysum aureonitens* (Kozyrovska, 2013).

2.5.3. Jamur Endofit Mangrove dan Peranannya

Mangrove dikenal memiliki karakter lingkungan yang ekstrim karena peralihan dari ekosistem darat ke ekosistem laut (Hamzah *et al.*, 2020). Mangrove berperan penting dalam menyangga ekosistem darat dan laut sehingga dikenal pula sebagai ekosistem paling produktif kedua di antara ekosistem laut. Mangrove menjadi habitat jamur teresterial dan laut dimana jamur teresterial seperti jamur endofit tumbuh di bagian batang dan daun, sedangkan jamur laut tumbuh di bagian tanaman yang terendam air laut seperti akar, dahan pohon bahkan pada pohon yang sudah mati (Chi *et al.*, 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa setiap bagian tumbuhan memiliki variasi jumlah dan jenis jamur endofit. Ada penelitian yang menyatakan bahwa koloni jamur endofit di bagian akar tumbuhan lebih banyak dibandingkan bagian lainnya namun ada juga yang menyatakan bahwa bagian batang lebih kaya akan jenis jamur endofit (Le *et al.*, 2019). Umur mangrove juga menentukan diversitas jamur endofit, mangrove muda cenderung lebih kaya jenis jamur (Moron *et al.*, 2018).

Sifat jamur endofit mangrove yang tahan terhadap ancaman seperti salinitas yang tinggi, suhu tinggi, pasang ekstrim, tekanan oksigen, kelembaban tinggi, keterbatasan cahaya dan udara merupakan hasil pengembangan jalur metabolisme yang unik dari jamur itu sendiri (Hamzah *et al.*, 2020; Sopalun *et al.*, 2021). Produk dari aktivitas metabolisme untuk pertahanan diri terhadap lingkungan tersebut adalah senyawa metabolit sekunder yang spesifik dengan tujuan tertentu (Zhou *et al.*, 2022). Jamur endofit adalah penghasil senyawa bioaktif yang sangat banyak dan bervariasi tergantung pada tumbuhan inang, habitat, kondisi lingkungan dan nutrisi yang diperolehnya. Organisme yang paling produktif menghasilkan senyawa bioaktif adalah jamur dari laut/marine fungi sebanyak 36% diikuti oleh *Actinobacteria* (16%), *Pseudoalteromonas* (11%), rumput laut (11%), tumbuhan (7%), spons (7%), *coral* (5%), *Pseudomonas* (4%), bakteri lainnya (3%) (Kasanah *et al.*, 2022).

Jamur endofit adalah sumber penting bagi ditemukannya senyawa metabolit bioaktif yang baru guna penemuan obat-obatan baru. Jamur endofit dapat menghasilkan beberapa senyawa bioaktif spektrum luas seperti steroid,

xanthones, fenol, *isocoumarine*, turunan perylene, kuinon, furandion, terpenoid, depsipeptida dan *cytochalasine*, polyketida, alkaloid, peptida, protein, lipid, *shikimates*, glikosida, isoprenoid (Rajamanikyam *et al.*, 2017).

Jamur endofit mangrove sedang banyak diteliti kandungan senyawa bioaktifnya pada beberapa tahun terakhir ini, salah satunya kemampuannya menghasilkan antimikroba (Carroll *et al.*, 2022). Jamur endofit semakin banyak diminati untuk diteliti karena merupakan sumber senyawa bioaktif alami berlimpah yang bersifat baru, terbarukan, dan memiliki toksisitas rendah serta lebih berkhasiat, lebih kuat, lebih terjangkau, lebih aman, dan kurang tahan dibandingkan agen antimikroba konvensional. Bidang medis dan industri farmasi akan terbantu dengan adanya penemuan senyawa bioaktif baru dari jamur endofit yang memiliki keragaman yang tinggi (Manganyi & Ateba, 2020).

Tabel 1 berikut ini menyajikan data terkait penelitian terdahulu yang dilakukan terhadap jamur endofit mangrove dan kemampuan aktivitas antimikroba yang dihasilkan.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu Tentang Uji Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit Mangrove

No	Peneliti	Tahun Publikasi	Judul	Jenis mangrove	Jenis jamur endofit	Aktivitas antimikroba terhadap bakteri	Lokasi
1	(Klaiklay <i>et al.</i> , 2012)	2012	Metabolites from the mangrove-derived fungus <i>xylaria cubensis</i> PSU-MA34	<i>Bruguiera parviflora</i>	<i>Xylaria cubensis</i> PSU-MA34	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 and Methicillin-Resistant <i>S. aureus</i> (MRSA)	Surrathani, Thailand
2	(Fitriana & Nurshitya, 2017)	2017	Aktivitas Antibakteri Ekstrak Isolat Fungi Endofit Dari Akar Mangrove (<i>Rhizophora Apiculata</i> Blume) Secara KLT Bioautografi	<i>R. apiculata</i> <i>Blume</i>		<i>Shigella dysenteriae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Salmonella thypii</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Stahpylococcus aureus</i>	Sulawesi Selatan

Tabel 1. (Lanjutan)

No	Peneliti	Tahun Publikasi	Judul	Jenis mangrove	Jenis jamur endofit	Aktivitas antimikroba terhadap bakteri	Lokasi
3	(Rivai <i>et al.</i> , 2018)	2018	Screening of Antimicrobial and Cytotoxic Activities of Endophytic Fungi Isolated from Mangrove Plant <i>Rhizophora mucronata</i> Lam	<i>Rhizophora mucronata</i>		<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , and <i>Candida albicans</i>	Pantai Jambak, Sumatera Barat
4	(Situmoran <i>et al.</i> , 2021)	2021	Isolasi dan aktivitas antibakteri jamur endofit pada mangrove <i>Avicennia marina</i> dari Pulau Payung Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan	<i>Avicennia marina</i>		<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Banyuasin, Sumatera Selatan
5	(Laksmi <i>et al.</i> , 2022)	2022	Antibacterial Activity Profile Of Mangrove Endophytic Fungi Isolated From Berau Regency, Indonesia	<i>Rhizophora mucronate</i> , <i>R. apiculata</i> , <i>Sonneratia alba</i> , <i>S. caseolaris</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Xylocarpus granatum</i> , <i>Nypa fruticosa</i> , and <i>A. ilicifolius</i>	<i>Diaporthe phaseolorum</i> , <i>Fusarium proliferatum</i> dan <i>Phomopsis sp</i>	<i>E. coli</i> ATCC 25922, <i>S. aureus</i> ATCC 25922, <i>B. cereus</i> ATCC 10876, and <i>S. typhimurium</i> ATCC 14028	Berau, Kalimantan Timur
6	Muhammad Bagus Michael Nursyahid, (Fakultas pertanian Universitas Lampung)	2022	Identifikasi Isolat Jamur Endofit Akar Mangrove <i>Avicennia</i> Sp. dari Perairan Lampung yang Memiliki Aktivitas Antibakteri Terhadap Bakteri Patogen	<i>Avicennia</i> sp	<i>Tritirachium oryzae</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>	Sungai way Belau-Pulau pasaran, Pantai Pagar Jaya-Punduh Pidada

Tabel 1. Lanjutan

No	Peneliti	Tahun Publikasi	Judul	Jenis mangrove	Jenis jamur endofit	Aktivitas antimikroba terhadap bakteri	Lokasi
8	Afifah Nisa Az Zuhdy (Tesis)	2023	<i>Bioprospeksi Jamur Endofit Pada Mangrove Di Habitat Lampung Mangrove Center Sebagai Antibakteri Alami</i>	Akar dari <i>Avicennia marina</i> dan daun <i>R. apiculata</i>	<i>Pseudopestalotia psis theae</i> dan <i>Trichoderma harzianum</i>	<i>V. parahaemolyticus</i> dan <i>S. aureus</i>	Lampung Mangrove Center, Lampung Timur

2.6. Uji Aktivitas Antibakteri

Senyawa antibakteri adalah senyawa kimia dan biologi yang bersifat alami atau sintetik dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri (Nurhayati *et al.*, 2020). Senyawa anti bakteri saat ini masih banyak diperoleh dari produk alami seperti bakteri prokariot, mikroorganisme eukariot, tumbuhan, dan berbagai jenis organisme hewan namun mayoritas adalah mikroorganisme dan tumbuhan (Balouiri *et al.*, 2016). Kekayaan senyawa antibakteri dari produk alami ini dapat diamati dan dipelajari aktivitas antibakterinya secara *in vitro* baik dalam bentuk ekstrak ataupun senyawa murni/tunggal dengan beberapa metode uji antara lain metode difusi, kromatografi lapis tipis (KLT)-bioautografi, metode dilusi, *time-kill test*, uji bioluminesens ATP, metode aliran sitofluorometri. Metode dasar uji aktivitas antibakteri dan antifungi yang dikeluarkan oleh *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) dan yang paling umum digunakan adalah metode difusi dan metode dilusi (Balouiri *et al.*, 2016; CLSI, 2012).

2.6.1. Metode *Disk-Diffusion/ Difusi Cakram*

Metode ini menggunakan kertas cakram atau *paper disc* (biasanya berukuran 6 mm) yang mengandung senyawa atau sampel uji dengan konsentrasi tertentu kemudian diletakkan di atas permukaan agar dalam cawan petri yang telah diinokulasi dengan mikroorganisme target. Cawan petri tersebut diinkubasi

pada kondisi lingkungan yang disesuaikan dengan pertumbuhan mikroorganismenya. Agen antimikroba akan berdifusi ke dalam agar dan menghambat pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri target yang ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar kertas cakram. Diameter zona bening yang terbentuk diukur dengan alat ukur seperti jangka sorong dan penggaris. Metode ini hanya menampilkan hasil secara kualitatif yang memisahkan aktivitas antibakteri ke dalam 3 kategori yaitu lemah, sedang, dan kuat. Metode difusi cakram adalah metode yang paling sering digunakan para peneliti karena lebih praktis, murah, dan prosesnya relatif cepat terutama untuk menguji aktivitas antimikroba dalam jumlah sampel uji yang banyak (Balouiri *et al.*, 2016; Nurhayati *et al.*, 2020; Sari & Febriawan, 2021).

2.6.2. Metode Difusi Sumuran/Agar Well Diffusion

Metode difusi sumuran biasa digunakan untuk menguji aktivitas antimikroba dari ekstrak tumbuhan atau mikroba. Prosedur pengujian mirip dengan metode difusi cakram dimana dalam cawan petri berisi agar diinokulasikan bakteri target kemudian permukaan agar dilubangi seukuran 6 – 8 mm dengan pelubang steril berbahan logam atau plastik (*tip*). Ekstrak senyawa uji dimasukkan ke dalam sumuran/lubang tersebut dengan volume 20 – 100 μL pada konsentrasi yang telah ditentukan kemudian diinkubasi pada kondisi yang disesuaikan dengan kebutuhan. Agen antimikroba akan berdifusi ke dalam media agar dan menghambat pertumbuhan bakteri target. Diameter zona bening yang terbentuk kemudian diukur dan diklasifikasikan berdasarkan kekuatan aktivitas antibakteri (Balouiri *et al.*, 2016; Nurhayati *et al.*, 2020).

2.6.3. Metode Difusi Plug Agar / Agar Plug Diffusion

Metode difusi *plug* agar sering digunakan untuk mengamati aktivitas antagonis antar mikroorganismenya dan prosedurnya mirip dengan metode difusi cakram. Permukaan bulatan/*plug* agar yang telah ditumbuhkan mikroba diletakkan pada media agar yang juga diinokulasi mikroba uji lainnya/target kemudian diinkubasi pada kondisi lingkungan yang sesuai. Substansi dari mikroba

pada plug agar akan berdifusi ke dalam media agar dalam cawan petri dan menghambat pertumbuhan mikroba target yang ditandai dengan adanya zona bening di sekitar plug agar (Balouiri *et al.*, 2016; Nurhayati *et al.*, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 13 bulan yang terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

- a. Bulan Juli - September 2023 melakukan penyusunan proposal dan persiapan alat dan bahan yang digunakan serta pengambilan sampel mangrove di Hutan Mangrove Petengoran, Pesawaran, Lampung.
- b. Bulan Oktober 2023 – Januari 2024 melakukan kegiatan pelaksanaan pengujian sampel mangrove di Laboratorium Balai Besar Perikanan Budi daya Laut Lampung dan Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
- c. Bulan Februari– Juli 2024 melakukan pengolahan data, analisa data dan penyusunan laporan akhir penelitian bertempat di Universitas Lampung.

3.2. Alat dan bahan

3.2.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Daftar Alat yang Digunakan dalam Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah	Fungsi
1	Cawan petri	100 buah	Wadah pertumbuhan jamur
2	Labu erlemeyer 1L	4 buah	Wadah membuat media cair
3	Gelas ukur 1L	2 buah	Mengukur volume larutan
4	Tabung reaksi 15 mL	24 buah	Wadah media agar miring
5	Mikropipet 1000 μ L	1 buah	Mengukur volume larutan
6	Jarum Ose	6 buah	Alat purifikasi jamur dan inokulasi bakteri
7	<i>Rotary Shaker</i>	1 buah	Homogenasi suspensi bakteri pada media cair
8	<i>Autoclave</i>	1 buah	Sterilisasi alat dan media
9	Bunsen	2 buah	Sumber api
10	Inkubator	1 buah	Alat inkubasi isolat bakteri
11	<i>Amber glass</i>	24 buah	Wadah hasil ekstraksi jamur
12	<i>Hot plate</i>	2 buah	Alat pemanas untuk pembuatan media
13	<i>Cotton swab</i>	24 buah	Mengambil suspensi bakteri dalam media cair
14	Jangka sorong	2 buah	Alat mengukur diameter zona bening
15	<i>Vortex</i>	1 buah	Alat untuk homogenisasi
16	Pinset	2 buah	Alat untuk mengambil paper disc
17	Laminar Air Flow	1 buah	Ruang kerja steril saat menuang dan menanam bakteri serta jamur
18	Rotary evaporator	1 buah	Alat untuk pemekatan ekstrak jamur
19	Thermal cycler	1 buah	Alat memperbanyak segmen DNA melalui proses PCR
20	Microwave	1 buah	Alat untuk membuat gel agarose 2%
21	Elektroforesis gel	1 buah	Memisahkan sampel DNA berdasarkan ukuran bobot dan struktur molekulnya
22	UV Transiluminator	1 buah	Alat bantu dalam mengamati hasil pemisahan DNA setelah proses gel elektroforesis

3.2.2. Bahan

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdapat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

No	Nama Bahan	Keterangan
1	Bagian ranting	Diambil dari setiap spesies mangrove yang ditemui
2	Jamur endofit	Sumber senyawa metabolit antibakteri
3	Bakteri uji	Isolat <i>Vibrio alginolyticus</i> dan <i>P.damselae</i> spp.
4	Potato Dextrose Agar/PDA	Media tumbuh jamur
5	Nutrient Agar	Media umum bakteri
6	Nutrient Broth	Media umum bakteri
7	TIANamp Genomic DNA Kit Cat. no. GDP304	Ekstraksi isolat jamur endofit
8	Etil Asetat	Pelarut untuk ekstrak senyawa dari jamur endofit
9	Dimetil Sulfoksida/DMSO	Pelarut untuk mengencerkan konsentrasi ekstrak jamur
10	Blank Paper Disc 6mm	Uji aktivitas antibakteri
11	Air Laut Steril	Pelarut media PDA
12	Aquadest	Pelarut
13	Alkohol 70 %	Sterilisasi alat
14	Agarose	Pembuatan gel elektroforesis
15	Chloramphenicol	Antibiotik
16	Paper disc antibiotik enrofloxacin	Kontrol positif uji antibakteri

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian dengan metode kuantitatif karena bertujuan untuk mengetahui efektivitas antibakteri senyawa metabolit sekunder dari jamur endofit mangrove dimana hasil penelitian berupa angka atau nilai yang akan dibandingkan dengan nilai standar/referensi.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksploratif dengan melakukan pengamatan secara langsung di laboratorium guna mendapatkan data primer. Pengujian aktivitas antibakteri ekstrak jamur endofit terhadap bakteri *Vibrio alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp. dilakukan dalam 2 variasi konsentrasi ekstrak, yaitu 500 µg/disc dan 1000 µg/disc dimana setiap konsentrasi diulang sebanyak 3 kali. Kontrol positif yang digunakan adalah antibiotik *paper disc* enrofloksasin 5 µg/disc (APA, 2024) sedangkan kontrol negatif adalah larutan *Dimethyl sulfoksida* (DMSO) (Laksmi *et al.*, 2022).

Data pengamatan diuji dengan analisis ragam satu arah (One Way ANOVA) dengan tingkat signifikansi, $p < 0,05$ menggunakan aplikasi pengolahan data statistik SPSS versi 24.

3.4. Pelaksanaan

Tahapan penelitian terdiri dari tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisa data. Prosedur penelitian terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut:

3.4.1. Pengambilan sampel

Metode pengambilan data yang digunakan adalah *purposive sampling* yaitu mengambil sampel dari semua spesies yang memiliki peluang mengandung jamur endofit (Mulyani *et al.*, 2023; Pratama *et al.*, 2021). Bagian mangrove yang diambil adalah bagian batang yang berada di bagian atas dan tidak terkena air laut dan bagian bawah yang terendam air laut. Batang mangrove dipotong dengan pisau steril kemudian dicuci dengan akuades, disemprot secara bergantian dengan larutan alkohol 70%, NaOCl 5% kemudian aquadest lalu dikeringanginkan (Julia *et al.*, 2022). Sampel kemudian dimasukkan ke wadah plastik steril dan disimpan dalam *cool box* (Le *et al.*, 2019; Norphanphoun *et al.*, 2018; Sibero *et al.*, 2017). Sampel uji ini harus segera dilakukan analisa sebelum 24 jam (dos Reis *et al.*, 2022). Penyemprotan alkohol dilakukan dengan tujuan menghilangkan organisme yang tidak diinginkan seperti mikroba epifit.

Pengambilan sampel dilakukan pada tiga klaster, yaitu cluster 2, 3, dan 4 untuk spesies *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Avicennia alba*, *Bruguiera cylindrica*, *Ceriops tagal*, *Scyphiphora hydrophyllacea*, *Lumnitzera racemosa*, *Sonneratia alba* dan *Excoecaria agallocha*.

3.4.2. Sterilisasi Alat dan Bahan

Sterilisasi alat yang dipakai dilakukan dengan mencuci peralatan gelas dengan sabun cair lalu dibilas dengan air bersih yang mengalir. Setelah kering, peralatan gelas tersebut dibungkus kertas lalu dibungkus kembali dengan plastik bersih tahan panas untuk dimasukkan ke dalam autoklaf. Sterilisasi dalam mesin autoklaf menggunakan suhu 121 °C pada tekanan 1 atm selama 15 menit (Annisaqois *et al.*, 2018; Yanti & Rosmania, 2020).

Media agar yang akan digunakan untuk mengisolasi jamur dan membiakkan bakteri patogen disterilkan dengan autoklaf pada suhu yang 121 °C pada tekanan 1 atm selama 15 menit (Bhargava, 2019). Peralatan *stainless* seperti pisau dan jarum ose disterilkan dengan cara direndam dalam larutan alkohol 70% kemudian dibakar di atas api bunsen sesaat sebelum digunakan (Sulistiyono & Mahyuni, 2019). Proses pengerjaan isolasi jamur di laboratorium dalam kondisi steril yaitu di dalam *laminar air flow* dengan dilengkapi sinar UV yang telah dinyalakan selama 30 menit sebelum digunakan.

3.4.3. Isolasi dan Purifikasi Jamur Endofit Mangrove

A. Prosedur Kerja

Metode *culture dependent* (Reis, 2022). Bagian jaringan mangrove yang digunakan adalah bagian ranting yang dibersihkan kulit luarnya (Heirina *et al.*, 2020). Sejumlah 2 cm x 1 cm ranting mangrove yang telah disterilisasi kemudian ditumbuhkan dalam cawan petri berdiameter 90 mm di atas media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang sudah ditambahkan chloramphenicol 0,25 g/L (Al-Rajhi *et al.* 2022; Hamzah *et al.* 2018) (lampiran 1. Pembuatan media). Proses inkubasi sampel dilakukan selama 7 x 24 jam pada suhu ruang (25-28°C) (Al-Rajhi *et al.*, 2022; Hamzah *et al.*, 2018).

Isolat jamur usia 7 hari dalam cawan yang sama dihitung jumlah jenis morfotipenya berdasarkan perbedaan ciri makroskopis (warna koloni, tekstur koloni, tipe hifa, garis konsentrat, garis zona pertumbuhan) (Situmorang *et al.*, 2021). Setiap morfotipe isolat jamur diinokulasi pada media PDA sampai

dihasilkan isolat jamur yang murni. Pengamatan ciri makroskopis dan diameter pertumbuhan dilakukan pada isolat jamur yang sudah murni. Pertambahan diameter jamur endofit (D) dihitung berdasarkan rumus : Nilai rata-rata dari diameter horizontal jamur endofit (d1) dan diameter vertikal jamur endofit (d2) dituliskan dalam rumus di bawah ini (Heirina *et al.*, 2020).

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Pengamatan ciri mikroskopis isolat jamur yang sudah murni dilakukan dengan metode *slide culture* dimana isolat jamur dikultur pada keempat sisi samping potongan media PDA berukuran 2 x 2 cm yang diletakkan di atas kaca preparat/*microscope slide* (Microbiology Society, 2015). Preparat ini kemudian ditutup dengan *cover slide* diletakkan di atas penyangga (bisa dari tusuk gigi, kaca, dan lain-lain) berbentuk segitiga dan dimasukkan dalam cawan petri yang telah dilapisi tisu steril yang lembab (diberi beberapa tetes akuabides steril). Isolat jamur diinkubasi pada suhu ruang selama 4 hari dan dilakukan pengamatan. *Cover glass* pada preparat diangkat dari media PDA dan diletakkan di atas gelas preparat baru yang diberi setetes larutan pewarna *lactophenol cotton blue* (LCB) untuk diamati di bawah mikroskop cahaya dengan perbesaran 40x10. Ciri mikroskopis yang diamati tipe konidiofor/sporangiofor, tipe dan warna hifa (Julia *et al.*, 2022).

B. Data Pengamatan

Koloni jamur dengan karakter warna koloni, bentuk koloni, dan diameter pertumbuhan yang serupa dikelompokkan dalam morfotipe yang sama untuk keperluan identifikasi. Pengamatan makroskopis isolat jamur dilakukan terhadap karakteristik jamur yang tumbuh seperti warna koloni dan sebalik (*reverse*), tekstur permukaan koloni, garis zona pertumbuhan, garis konsentrasi, tipe pertumbuhan, jenis filamen hifa dan spora kemudian dibandingkan dengan buku identifikasi jamur (Gandjar *et al.*, 1999; Barnett & Hunter, 1955)

Pengamatan mikroskopis isolat jamur dilakukan terhadap komponen konidiofor/sporangiofor, bentuk konidia, tipe hifa septat dan aseptat serta warna

hifa hyalin atau gelap kemudian dibandingkan dengan buku identifikasi jamur (Barnett & Hunter, 1955).

Jamur dikelompokkan berdasarkan kategori pertumbuhannya seperti *very slow*, *slow*, *medium*, *fast*, *very fast* dilihat dari diameter luas penampangnya yaitu diameter < 1 cm, 1 - 2 cm, 2 - 3 cm, 4 cm, dan > 5 cm selama masa inkubasi 7 hari.

Frekuensi kehadiran setiap spesies jamur endofit dihitung dengan rumus (Wang *et al.*, 2007) :

$$\text{frekuensi kehadiran spesies} = \frac{\text{jumlah individu spesies } i}{\text{total jumlah yang ditemukan}} \times 100 \%$$

3.4.4. Skrining Aktivitas Antibakteri

A. Prosedur kerja

Setiap spesies jamur yang ditanam di media PDA diuji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri patogen pada ikan budi daya laut yaitu *V. alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* *subspecies damsela* secara *in vitro* menggunakan metode difusi *plug* agar.

Inokulasi bakteri patogen pada media kultur cair (NB) diinkubasi selama 24 jam. Kepadatan bakteri yang digunakan mengacu dengan 0.5 McFarland standard ($1,5 \times 10^8$ CFU/ml). Bakteri diambil sebanyak 1% dari volume media untuk ditumbuhkan di media NA menggunakan *cotton swab* (Bahabadi *et al.*, 2017).

Plug agar dibuat dengan cara mencetak lapisan atas koloni jamur yang tumbuh di media PDA menjadi seperti bulatan kecil berdiameter 6 mm dengan jarum ose atau ujung tip mikropipet. Plug agar ini ditempatkan dalam media *Nutrient Agar* (NA) berisi bakteri kemudian diinkubasi selama 2 x 24 jam guna mendapatkan zona hambat pertumbuhan bakteri yang ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar plug jamur (Kasmiati *et al.*, 2022).

B. Data Pengamatan

Hasil pengamatan berupa diameter zona bening yang dihasilkan oleh setiap jenis *plug agar* dalam biakan bakteri target. Jenis jamur endofit yang memiliki zona bening kategori kuat akan dikelompokkan dalam daftar jamur potensial untuk ke tahap selanjutnya yaitu ekstraksi jamur.

3.4.5. Ekstraksi Jamur Potensial Antibakteri

A. Prosedur Kerja

Subkultur jamur potensial pada media PDA kemudian diinokulasi dalam jumlah besar dengan volume 600 mL dengan tujuan mendapatkan ekstrak jamur yang memadai. Jamur yang telah tumbuh pada usia 7 hari (D7) kemudian dipotong kecil-kecil dengan pisau steril kemudian dipindahkan dalam beaker glass 2 L. Potongan agar dan jamur diberi larutan etil asetat menggunakan perbandingan PDA : etil asetat yaitu 1:2. Proses perendaman jamur dengan etil asetat ini berlangsung selama 3 x 24 jam kemudian filtrat dipisahkan dari endapan menggunakan kertas saring. Filtrat diuapkan dengan menggunakan *rotatory evaporator* pada suhu 40-45 °C untuk memisahkan pelarut etil asetat sehingga dihasilkan ekstrak jamur pekat (Zuhdy, 2023).

B. Data Pengamatan

Ekstrak pekat yang dihasilkan oleh setiap jamur ditimbang dengan timbangan analitik kemudian disimpan di dalam botol kaca gelap agar tidak teroksidasi. Karakteristik ekstrak jamur yang diamati berupa warna dan berat.

3.4.6. Uji Aktivitas Antibakteri

A. Prosedur Kerja

Metode yang digunakan untuk menguji aktivitas antibakteri terhadap *V. alginolyticus* dan *P. damsela* adalah metode *disc diffusion*. *Blank paper disc*

ukuran 6 mm diberi ekstrak jamur endofit yang telah dilarutkan dengan Dimetil sulfoksida (DMSO) untuk mendapatkan variasi konsentrasi yaitu 500 µg/disk dan 1000 µg/disk. Penimbangan ekstrak padat dan pengenceran dengan DMSO untuk pembuatan masing-masing konsentrasi tertulis dalam lampiran 1. Enrofloksasin dosis 5 µg/disk digunakan sebagai kontrol positif sesuai dengan penelitian (APA, 2024) yang menyatakan bahwa infeksi bakteri *Vibrio* pada ikan laut efektif diatasi dengan antibiotik enrofloxacin sedangkan pelarut DMSO sebagai kontrol negatif.

Larutan ekstrak jamur berbagai variasi dengan volume 20 µL ditetaskan pada kertas cakram (*blank paper disc*) berukuran 6 mm lalu diletakkan pada media *Mueller Hinton Agar* (MHA) yang telah diusap (swab) dengan masing-masing kultur bakteri *V. alginolyticus* dan *P. damsela* spp kepadatan $1,5 \times 10^8$ CFU/ml (Belgis *et al.*, 2021; Firoze *et al.*, 2022).

Ekstrak jamur yang memiliki aktivitas antibakteri akan membentuk zona bening di sekitar *paper disc* menunjukkan bahwa ekstrak jamur dapat menghambat pertumbuhan bakteri target (Feliatra *et al.*, 2020; Jusidin *et al.*, 2022). Ukuran diameter zona bening ini yang akan menjadi pembeda masing-masing perlakuan konsentrasi ekstrak. Pengamatan zona bening dilakukan setelah inkubasi selama 2 x 24 jam menggunakan penggaris, jangka sorong dan atau *software image J* untuk validasi.

B. Data Pengamatan

Diameter zona bening yang terbentuk dalam uji aktivitas antibakteri diukur menggunakan *soft ware Image J* yang terpasang dalam perangkat komputer. Langkah pertama, foto media yang berisi perlakuan disimpan dalam perangkat komputer berbentuk file *Joint Photographic Experts Group* (JPEG) kemudian diameter zona bening diukur dengan menu *measure* pada *software image J*. Data diameter zona bening dapat diukur dengan satuan mm (Kharaghani *et al.*, 2018; Petrova & Petrov, 2021; Zivkovic *et al.*, 2017).

Data diameter zona bening setiap konsentrasi ekstrak jamur terhadap masing-masing spesies bakteri target diuji secara statistik dengan metode ANOVA pada level $P \text{ value} < 0,05$ menggunakan software SPSS versi 24.

3.4.7. Identifikasi Molekular Jamur Potensial

Kandidat jamur yang memiliki aktivitas antibakteri terhadap *V. alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp. diidentifikasi dengan menggunakan metode biologi molekular. Daerah *Internal Transcription Spacer* (ITS) rDNA adalah penanda molekuler DNA yang paling banyak digunakan untuk mengidentifikasi jamur. Bersama dengan rangkaian gen 18S rRNA dan 28S rRNA, wilayah ITS terdapat dalam banyak salinan dalam genom jamur dan eukariota lainnya. Lebih lanjut, wilayah ITS dianggap sebagai wilayah barcode DNA yang paling penting untuk identifikasi taksa jamur (Kiss, 2012). Urutan barcode adalah urutan DNA pendek terstandarisasi dan universal yang dapat dengan mudah diamplifikasi dengan PCR (450-800 bp) (Guerrero *et al.*, 2020). Meskipun umum di antara taksa, mereka sangat bervariasi pada tingkat spesies.

Identifikasi jamur endofit secara molekuler dalam penelitian ini menggunakan daerah ITS 1 (*forward*) dan ITS 4 (*reverse*) (Al-maqtoofi, 2023; Yang *et al.*, 2020).

A. Prosedur kerja

Tahapan kerja proses ini terdiri dari 6 tahapan yaitu

1) Ekstraksi DNA

Ekstraksi DNA jamur terdiri atas beberapa tahapan utama antara lain penggerusan sampel, ekstraksi, pengendapan, pencucian, dan pelarutan DNA (Nurchayani *et al.*, 2019; Wulan *et al.*, 2021). Ekstraksi DNA jamur potensial dilakukan menggunakan TIANamp Genomic DNA kit dari TianGen China (Cat. no. GDP304) seperti yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya tentang identifikasi jamur endofit mangrove (Mao *et al.*, 2022). Protokol penggunaan kit ekstraksi DNA jamur terdapat pada Lampiran 2. Hasil akhir dari proses ini adalah DNA template yang bila tidak digunakan harus disimpan dalam freezer pada suhu (-) 20°C. (Le *et al.*, 2019; Poulsen *et al.*, 2021)

2) Amplifikasi DNA

Amplifikasi DNA bertujuan untuk memperbanyak rantai DNA target yang diinginkan menggunakan enzim polimerase rantai DNA (Yang *et al.*, 2020). Tahapan dalam amplifikasi dapat berupa predenaturasi, denaturasi, annealing/penempelan, elongasi/extension, dan pendinginan (Nehdi *et al.*, 2020). Protokol untuk pembuatan komponen amplifikasi DNA dengan volume reaksi 25 μ l yang terdiri dari 1 μ l *forward primer* (ITS 1) dan 1 μ l *reverse primer* (ITS 4) dari Integrated DNA Technologies, PT Genetika Science, 12,5 μ l 2x MyTaq™ HS Red Mix-Meridian dari Bioscience, 8,5 μ l DDH₂O (*nuclease free water*), dan 2 μ l DNA template. Tabel 4 menunjukkan komposisi reagen volume reaksi 25 μ l diperlukan komponen sebagai berikut:

Tabel 4. Daftar Komposisi Reagen Amplifikasi DNA Jamur

Komponen	Volume	Konsentrasi Akhir
2 x My Taq HS Red dari Bioline corporation	12,5 μ l	1x
Forward primer (ITS 1), 10 μ M Basa : TCCGTAGGTGAACCTGCGG	1 μ l	0,4 μ M
Reverse Primer (ITS 4), 10 μ M Basa : TCCTCCGCTTATTGATATGC	1 μ l	0,4 μ M
DNA template	2 μ l	< 250ng
DDH ₂ O (<i>nuclease free water</i>)	8,5 μ l	N.A

Amplifikasi DNA melalui *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dilakukan pada mesin SensoQuest Lab Cyclor. Protokol amplifikasi DNA mengacu pada Trianto *et al.* (2020) sebagai berikut: *Predenaturasi* pada suhu 95°C selama 180 detik, *denaturasi* pada suhu 95°C selama 60 detik, *annealing* pada suhu 56,1°C selama 60 detik, *extension* pada suhu 72°C selama 60 detik, dan *final extension* pada suhu 72 °C selama 420 detik. Proses denaturasi hingga *final extension* dilakukan dalam 34 siklus. Proses pendinginan pada suhu 4°C berlangsung hingga sampel *recovery*.

3) Elektroforesis

Sampel DNA hasil amplifikasi kemudian dipisahkan dengan komponen lain melalui proses elektroforesis berdasarkan perbedaan bobot

molekul. Sistem elektroforesis horizontal dilakukan menggunakan medium Agarose 1 % yang telah dicetak dengan *glassplate* disimpan tegak lurus untuk membentuk sumuran sampel DNA (Forgia *et al.*, 2023; Lücking *et al.*, 2021; Nurcahyani *et al.*, 2019). Cetakan agarose diletakkan dalam mesin elektroforesis yang diberi larutan Tris-Borat-EDTA/TBE *Buffer* lalu ke dalam sumuran pertama sebelah ujung kiri dimasukkan sejumlah 2 μ l *DNA ladder* 1000 *base pairs* sebagai penanda/marker berat molekul. Sejumlah 2 μ l produk DNA/*DNA template* diletakkan pada sumuran lainnya. Protokol elektroforesis berjalan dengan mengalirkan listrik sebesar 100 Volt selama 30 menit ke dalam bak sesuai dengan prosedur pada Nurcahyani, *et al.*, (2019). Hasil elektroforesis berupa pita yang menggambarkan DNA amplifikasi diamati dengan alat *Gel Doc UV transiluminator* yang dapat merekam gambar karena dilengkapi kamera agar visualisasi lebih jelas (Animasaun *et al.*, 2022; Gupta *et al.*, 2020). Adanya pita yang terlihat pada area target (500-700 bp) menunjukkan DNA sampel berhasil diamplifikasi (Kausarud, 2023). Gambar disimpan dalam perangkat komputer dalam format JPEG.

4) *Sequencing* DNA

Tahapan selanjutnya dalam identifikasi molekular jamur potensial adalah melakukan *sequencing* DNA atau proses mengurutkan asam basa nukelotida pada suatu fragmen molekul DNA. Sampel hasil amplifikasi DNA akan diproses untuk *sequencing* DNA di Laboratorium PT. Genetika Science Indonesia, Tangerang. Hasil *sekuensing* DNA yang diperoleh berupa file format *FASTA* kemudian dianalisis dan jika diperlukan dilakukan pengeditan menggunakan software MEGA-11 (*Molecular Evolutionary Genetics Analysis* version 11.0) yang diunduh pada halaman situs <https://www.megasoftware.net> . Sekuens DNA *forward* dan *reverse* disejajarkan dengan software bioedit sehingga diperoleh *consensus sequence*.

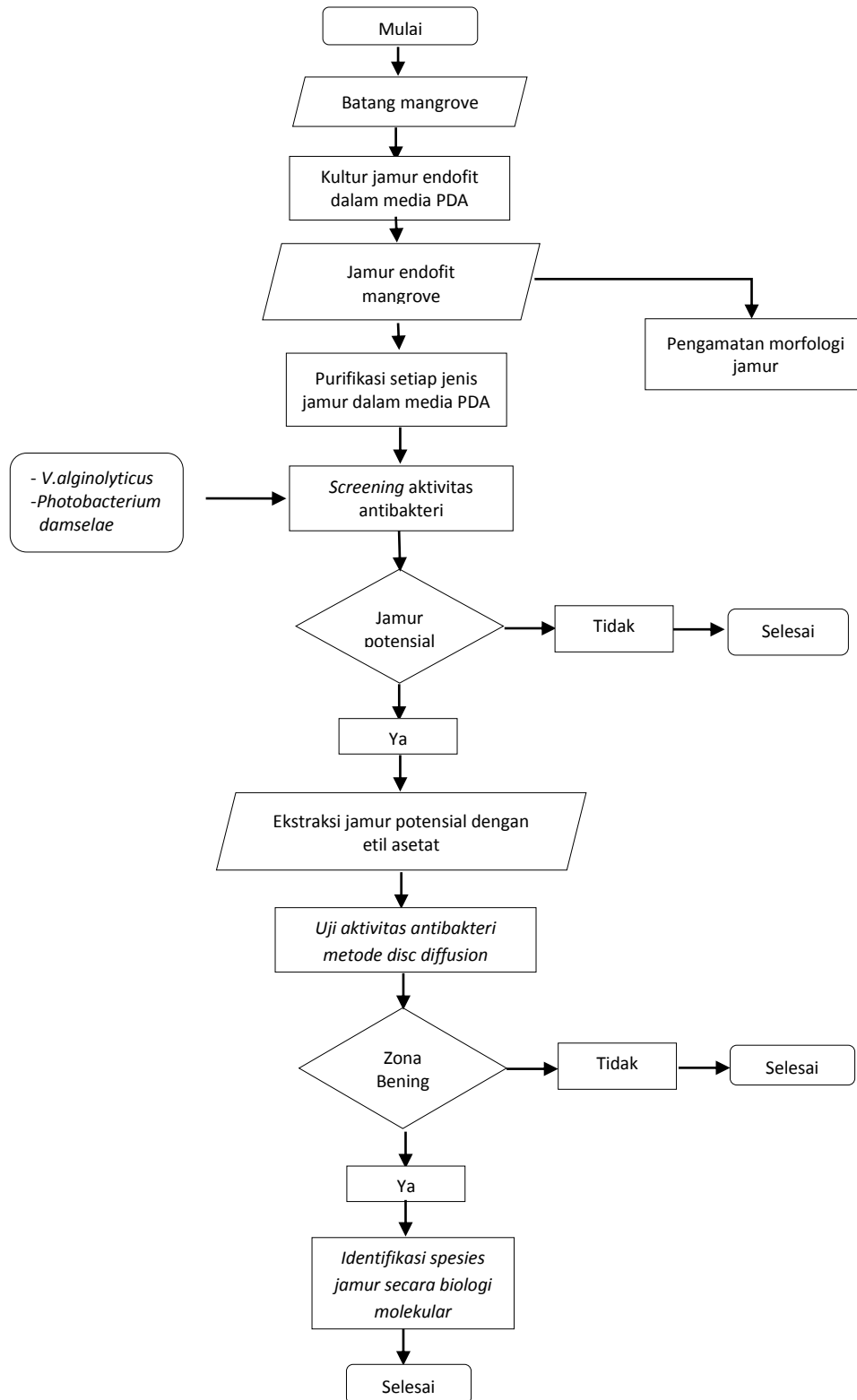
5) *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST)

Consensus sequence jamur dibandingkan dengan sekuens jamur yang tersedia pada *GenBank database* nukleotida di *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) menggunakan fitur *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) (Wang *et al.*, 2021). Hasil perbandingan jamur tersebut diklasifikasikan sesuai dengan tingkat homologinya, lalu dianalisis menggunakan fitur ClustalW pada *software* MEGA-11 (Animasaun *et al.*, 2022).

6) Pembuatan pohon filogenik

Pohon filogenetik dihasilkan menggunakan *distance method neighbour joining group bootsrap* sebanyak 1000x terhadap sekuens DNA jamur dan DNA spesies jamur lainnya yang memiliki kemiripan homology di atas 98 % pada *software* Mega-11 (Atiqah & Zakaria, 2017) .

3.5. Alur penelitian



Gambar 7. Alur Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa

1. Telah berhasil diidentifikasi secara biologi molekular jamur endofit mangrove yang berpotensi kuat sebagai antibakteri *V. alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp. yaitu dari jenis *Pestalotiopsis rhizophorae* (4SLB1-1) dan *Nigrospora magnoliae* (4SLB1-4) yang diisolasi dari mangrove jenis *Lumnitzera racemosa* Willd.
2. Telah didapatkan hasil uji aktivitas antibakteri terbaik terhadap *V. alginolyticus* dengan kategori “sedang” yaitu ekstrak isolat jamur 4SLB1-1 (*Pestalotiopsis rhizophorae*) pada konsentrasi 1000 µg/disk dan 4SLB1-4 (*Nigrospora magnoliae*) pada konsentrasi µg/disk dengan efektivitas masing-masing secara berurutan sebesar 66,22±1,52 % dan 65,01±1,33 %.
3. Telah didapatkan hasil uji aktivitas antibakteri terbaik terhadap *P. damsela* spp. dengan kategori “kuat” yaitu ekstrak isolat jamur 4SLB1-1 pada konsentrasi 1000 µg/disk dan 4SLB1-4 pada konsentrasi 1000 µg/disk dengan efektivitas masing-masing sebesar 99,18±0,53% dan 95,54±2,19 %.
4. Ekstrak jamur endofit mangrove dari hutan mangrove Petengoran dapat dapat berfungsi sebagai antibakteri pada *V. alginolyticus* dan *P. damsela* spp.

5.2. Saran

1. Ekstrak isolat jamur endofit dengan aktivitas antibakteri terhadap *V. alginolyticus* dan *Photobacterium damsela* spp. dengan kategori “sedang” dan “kuat” dapat diuji lebih lanjut untuk mengetahui kandungan senyawa kimia yang berperan sebagai antibakteri dan dapat diaplikasikan dalam industri dan masyarakat.
2. Aplikasi ekstrak jamur endofit dapat dimanfaatkan dalam budi daya perikanan baik untuk memperbaiki kualitas air di kolam budi daya dan membantu melawan patogen ikan dalam bentuk *Cell-Free Supernatant* (CFS) yang diaplikasikan melalui pakan.
3. Hutan Mangrove Petengoran sebagai salah satu habitat jamur endofit potensial penghasil antibakteri telah memberikan jasa ekologis yang besar sehingga perlu mendapatkan perhatian lebih dari pemerintah daerah, swasta dan para pemangku kepentingan lainnya agar dapat meningkatkan indeks keberlanjutannya.
4. Hutan Mangrove Petengoran dapat ditingkatkan keberlanjutannya melalui peranannya sebagai lokasi ekowisata di Kabupaten Pesawaran dan juga melalui sistem *Silvofishery*/wanamina menggunakan komoditas perikanan yang disesuaikan dengan kebutuhan pasar lokal sehingga diharapkan dapat meningkatkan taraf perekonomian masyarakat setempat.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Aharwal, R. P., Kumar, S., & Sandhu, S. S. 2021. Endophytic Mycoflora: Antibacterial Secondary Metabolites and Their Therapeutic Potential. *Current Pharmacology Reports*, 7(4), 150–170. <https://doi.org/10.1007/s40495-021-00261-w>
- Al-maqtoofi, M. Y. 2023. *A Simple and Rapid DNA Extraction Protocol for Molecular Identification of Fungi*.
- Al-Rajhi, A. M. H., Mashraqi, A., Al Abboud, M. A., Shater, A. R. M., Al Jaouni, S. K., Selim, S., & Abdelghany, T. M. 2022. Screening of Bioactive Compounds from Endophytic Marine-Derived Fungi in Saudi Arabia: Antimicrobial and Anticancer Potential. *Life*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/life12081182>
- Alam, B., Li, J., Gě, Q., Khan, M. A., Gōng, J., Mehmood, S., Yuán, Y., & Gōng, W. 2021. Endophytic Fungi: From Symbiosis to Secondary Metabolite Communications or Vice Versa? *Frontiers in Plant Science*, 12(December), 1–24. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791033>
- Anderson, J. L., Asche, F., Garlock, T., & Chu, J. (2017). Aquaculture: Its role in the future of food. *Frontiers of Economics and Globalization*, 17, 159–173. <https://doi.org/10.1108/S1574-871520170000017011>
- Andreoni, F., & Magnani, M. (2014). Photobacteriosis: Prevention and Diagnosis. *Journal of Immunology Research*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/793817>
- Animasaun, D. A., Nnamdi, C. D., Ipinmoroti, O. I., Oyedeji, S., Olonya, E. A., Krishnamurthy, R., & Morakinyo, J. A. (2022). Molecular Identification and Phylogenetic Analysis of Fungi Contaminants Associated with In Vitro Cultured Banana Based on ITS Region Sequence. *HAYATI Journal of Biosciences*, 29(3), 288–300. <https://doi.org/10.4308/hjb.29.3.288-300>

- Annisaqois, M., Gerung, G., Wullur, S., Sumilat, D., Wagey, B., & Mandagi, S. 2018. Analisis Molekuler DNA Alga Merah (*Rhodophyta*) *Kappaphycus* sp. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 6(1), 107. <https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.20589>
- Asian Pasific Aquaculture. 2024. The Annual International Conference & Exposition of World Aquaculture Society and Asian Pacific Aquaculture 2024. In APA (Ed.), *The Annual International Conference & Exposition of World Aquaculture Society and Asian Pacific Aquaculture 2024* (pp. 1–380). World Aquaculture Society.
- Arfan, A., Muin, M. A., Hasriyanti, H., Yusuf, M., & Sukri, I. 2023. Silvofishery Ecopreneurship - Strategi Untuk Pengembangan Ekosistem Mangrove Sebagai Kawasan Budi Daya Berkelanjutan. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 13(1), 79. <https://doi.org/10.15578/jksekp.v13i1.12339>
- Ashar, M., & Anum, Q. 2022. Mekanisme Resistensi Antibiotik pada Pengobatan Gonore. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*, 22(1), 129–137. <https://doi.org/10.24815/jks.v22i1.20819>
- Atiqah, N., & Zakaria, L. 2017. Morphological and Molecular Diversity of *Aspergillus* From Corn Grain Used as Livestock Feed. *HAYATI Journal of Biosciences*, May, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2017.05.002>
- Austin, B., & Austin, D. A. 2016. *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish, Sixth Edition*, 1–732. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>.
- Baker-Austin, C., Oliver, J. D., Alam, M., Ali, A., Waldor, M. K., Qadri, F., & Martinez-Urtaza, J. 2018. *Vibrio* spp. Infections. *Nature Reviews Disease Primers*, 4(1), 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41572-018-0005-8>
- Bakri, S., Hartati, F., Kaskoyo, H., Febryano, I. G., & Dewi, B. S. 2023. The Fate of Mangrove Ecosystem Sustainability on The Shrimp Cultivation Area in Tulang Bawang District, Lampung, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(1). 379-390.

- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. 2016. Methods for In Vitro Evaluating Antimicrobial Activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. 1955. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (fourth). Burgess Pub. Co. <https://doi.org/10.2307/3756026>
- BBPBL Lampung. 2015. *Juknis Bawal Bintang*. Direktorat Jenderal Perikanan Budi daya. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Belgis, M., Nafi', A., Giyarto, G., & Wulandari, A. D. 2021. Antibacterial Activity of *Kaempferia Galanga* L. Hard Candy Against *Streptococcus pyogenes* and *Staphylococcus aureus* Bacteria Growth. *International Journal on Food, Agriculture and Natural Resources*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.46676/ij-fanres.v2i1.22>
- Bengen, D. G., Yonvitner, & Rahman. 2007. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Mangrove* (Cetakan ke, Vol. 23, Issue February). PT Penerbit IPB Press.
- Bentley, R., & Bennett, J. W. 2003. What Is an Antibiotic? Revisited. *Advances in Applied Microbiology*, 52, 303-331.
- Bhargava, B. 2019. *Standard Operating Procedures for Fungal Identification and Detection of Antifungal Resistance. Second Edition*. Indian Council of Medical Research. New Delhi, India. 144 p.
- Bonfante, P., Venice, F., & Lanfranco, L. 2019. The Mycobiota: Fungi Take Their Place between Plants and Bacteria. *Current Opinion in Microbiology*, 49, 18–25. <https://doi.org/10.1016/J.MIB.2019.08.004>
- Cai, Y., Jiang, L., Wang, S., Zhao, Z., Zhou, Y., & Wang, S. 2024. Case of *Vibrio vulnificus* Infection in *Oreochromis niloticus* during Suspension of Recirculating Aquaculture System. *Water (Switzerland)*, 16(13), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w16131878>
- Cao, J., Zhang, J., Ma, L., Li, L., Zhang, W., & Li, J. 2018. Identification of Fish Source *Vibrio alginolyticus* and Evaluation of Its Bacterial Ghosts Vaccine Immune Effects. *Microbiology Open*, 7(3), 1–11. <https://doi.org/10.1002/mbo3.576>

- Carroll, A. R., Copp, B. R., Davis, R. A., Keyzers, R. A., Michèle, M., & Prinsep, R. 2022. Marine Natural Products. *Natural Product Reports*, 39, 1111–1368. <https://doi.org/10.1039/d1np00076d>
- Catanese, G., & Grau, A. 2023. First Detection of *Photobacterium* spp. in Acute Hemorrhagic Septicemia from the Nursehound Shark *Scyliorhinus stellaris*. *Fishes*, 8(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/fishes8030128>
- Cesarani, A., Herison, A., Ashuri, & Romdania, Y. 2023. Studi Potensi Ekowisata Mangrove Di Petengoran , Kabupaten Pesawaran. *Journal Rekayasa Sipil dan Design*, 11(2), 437–446.
- Chagas, F. O., Pessotti, R. D. C., Caraballo-Rodríguez, A. M., & Pupo, M. T. 2018. Chemical Signaling Involved in Plant-Microbe Interactions. *Chemical Society Reviews*, 47(5), 1652–1704. <https://doi.org/10.1039/c7cs00343a>
- Chbel, A., Elmakssoudi, A., Rey-Méndez, M., Barja, J. L., Soukri, A., & El Khalfi, B. 2022. Analysis Of The Chemical Compositions Of Six Essential Oils And Evaluation Of Their Antioxidant And Antibacterial Activities Against Some Drug-Resistant Bacteria In Aquaculture. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 11(3), 401–408. <https://doi.org/10.34172/jhp.2022.46>
- Chi, W. C., Chen, W., He, C. C., Guo, S. Y., Cha, H. J., Tsang, L. M., Ho, T. W., & Pang, K. L. 2019. A Highly Diverse Fungal Community Associated With Leaves Of The Mangrove Plant *Acanthus ilicifolius* var. *Xiamenensis* Revealed By Isolation And Metabarcoding Analyses. *PeerJ*, 2019(7). <https://doi.org/10.7717/peerj.7293>
- Clinical and Laboratory Standard Institute. 2012. *Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests: Approved standard - Eleventh edition* (Vol. 32, Issue 1). <https://doi.org/M02-A11>
- Crous, P. W., Braun, U., Schubert, K., & Groenewald, J. Z. 2007. Delimiting *Cladosporium* From Morphologically Similar Genera. *Studies in Mycology*, 58, 33–56. <https://doi.org/10.3114/sim.2007.58.02>
- Dadgostar, P. (2019). Antimicrobial Resistance: Implications and Cost. In *Infection and Drug Resistance* (Vol. 12). <https://doi.org/http://doi.org/10.2147/IDR.S234610>

- Dastogeer, K. M. G., Tumpa, F. H., Sultana, A., Akter, M. A., & Chakraborty, A. 2020. Plant Microbiome—An Account Of The Factors That Shape Community Composition And Diversity. *Current Plant Biology*, 23(June), 100161. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100161>
- De Carvalho, C., Ferreira, M., & Rosa, L. 2021. *Neotropical Endophytic Fungi: Diversity, Ecology, and Biotechnological Applications*. Springer Nature Switzerland.
- Demers, D. H., Knestruck, M. A., Fleeman, R., Tawfik, R., Azhari, A., Souza, A., Vesely, B., Netherton, M., Gupta, R., Colon, B. L., Rice, C. A., Rodríguez-Pérez, M. A., Rohde, K. H., Kyle, D. E., Shaw, L. N., & Baker, B. J. 2018. Exploitation Of Mangrove Endophytic Fungi For Infectious Disease Drug Discovery. *Marine Drugs*, 16(10), 1–11. <https://doi.org/10.3390/md16100376>
- Dinas Pariwisata Kabupaten Pesawaran. 2021. Pesona Hutan Mangrove Petengoran di Desa Gebang. *Dinas Pariwisata Kabupaten Pesawaran*, 1–5. <https://pariwisata.pesawarankab.go.id/pesona-hutan-mangrove-petengoran-di-desa-gebang/>. Diakses tanggal 20 Juli 2023.
- Dinas Kominfo dan Statistik Provinsi Lampung. 2024. Potensi Sumberdaya Kelautan dan Perikanan Menjadi Salah Satu Penggerak Perekonomian di Provinsi Lampung. <https://diskominfotik.lampungprov.go.id/detail-post/potensi-sumberdaya-kelautan-dan-perikanan-menjadi-salah-satu-penggerak-perekonomian-di-provinsi-lampung>. Diakses tanggal 5 Januari 2024
- Dos Reis, J. B. A., Lorenzi, A. S., & do Vale, H. M. M. 2022. Methods Used For The Study Of Endophytic Fungi: A Review On Methodologies And Challenges, And Associated Tips. *Archives of Microbiology*, 204(11), 1–30. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03283-0>
- Effendi, I., Rifai, M., Nadira, M. R., Syawal, H., Suriani, D. T., Yoswaty, D., & Riza, S. 2023. Bioactivity of *Bruguiera gymnorrhiza* leaf extract on fish pathogenic bacteria *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila*, and *Pseudomonas aeruginosa*. *AACL Bioflux*, 16(1), 89–98.
- Eshboev, F., Mamadalieva, N., Nazarov, P. A., Hussain, H., Katanaev, V., Egamberdieva, D., & Azimova, S. 2024. Antimicrobial Action Mechanisms of Natural Compounds Isolated from Endophytic Microorganisms. *Antibiotics*, 13(3), 1–36. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13030271>

- Essam, H. M., Abdellrazeq, G. S., Tayel, S. I., Torky, H. A., & Fadel, A. H. 2016. Pathogenesis of *Photobacterium damsela* Subspecies Infections In *Sea Bass* And *Sea Bream*. *Microbial Pathogenesis*, 99, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.08.003>
- Estigade, A.P., A.P. Astuti, A. Wicaksono, T. Maitela, & W. Widyatmanti. 2019. Aplikasi web map dalam pemetaan kesesuaian fisik perairan untuk budi daya keramba jaring apung di Teluk Lampung. *Majalah Ilmiah Globe*, 21(1): 9-16. <https://doi.org/10.24895/MIG.2019.21-1.867>
- Fajriani, B., Budiharjo, A., Pujiyanto, S. 2018. Isolasi Dan Identifikasi Molekuler Bakteri Antagonis Terhadap *Vibrio parahaemolyticus* Patogen Pada Udang *Litopenaeus vannamei* Dari Produk Probiotik Dan Sedimen Mangrove Di Rembang. *Jurnal Biologi*, 7(1), 52–63. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Food and Agriculture Organization. 2019. Aquaculture Development. Recommendations For Prudent and Responsible Use of Veterinary Medicines In Aquaculture. In *FAO. Technical Guidelines for Responsible Fisheries*.
- Food and Agriculture Organization. 2023. Fish and Fishery products. *Food Outlook November 2023, November*, 8. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/dd3f6c89-148e-4945-b83b-b4120faaf056/content>. Diakses tanggal 16 Januari 2024.
- Food and Agriculture Organization. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture. In *Blue Transformation in Action: Vol.* (Issue). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cd0690en>
- Farisi, S., Widiastuti, E. L., Suratman, Saputra, R. H., & Kanedi, M. 2021. Identification of bacteria causing Vibriosis (*Vibrio* sp) on white snapper (*Lates calcarifer*) reared in the marine cultivation ponds. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 14(1), 082–089. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.14.1.0010>
- Feliatra, F., Setiaji, J., Teruna, H. Y., Lukistyowati, I., Suharman, I., Muchlisin, Z. A., & Johan, T. I. 2020. Antibacterial Activity In Secondary Metabolite Extracts Of Heterotrophic Bacteria Against *Vibrio alginolyticus*, *Aeromonas hydrophila*, and *Pseudomonas aeruginosa*. *F1000Research*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.12688/f1000research.26215.1>

- Firoze, S., Khan, H. M., & Fatima, N. 2022. *Evaluation of Antifungal Susceptibility Testing Methods for Dermatophytes*. 4(5), 116–124. <https://doi.org/10.35629/5252-0405116124>
- Fitriana, F., & Nurshitya, E. 2017. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Isolat Fungi Endofit Dari Akar Mangrove (*Rhizophora apiculata* Blume) Secara KLT Bioautografi. *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, 9(1), 27–36. <https://jurnal.farmasi.umi.ac.id/index.php/as-syifaa/article/view/234>
- Forgia, M., Navarro, B., Daghino, S., Cervera, A., Gisel, A., Perotto, S., Aghayeva, D. N., Akinyuwa, M. F., Gobbi, E., Zheludev, I. N., Edgar, R. C., Chikhi, R., Turina, M., Babaian, A., Di Serio, F., & de la Peña, M. 2023. Hybrids of RNA viruses and viroid-like elements replicate in fungi. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38301-2>
- Freitas, I. L., Teixeira, A., Loureiro, I., Lisboa, J., Saraiva, A., Dos Santos, N. M. S., & Do Vale, A. 2022. Susceptibility of Sea Bream (*Sparus aurata*) to AIP56, an AB-Type Toxin Secreted by *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*. *Toxins*, 14(2), 1–18. <https://doi.org/10.3390/toxins14020119>
- Gandjar, I. 1999. *Pengenalan Kapang Tropik Umum*. Indonesia: Yayasan Obor Indonesia.
- Gao, H., Zhang, L., Lu, Z., He, C., Li, Q., & Na, G. 2018. Complex migration of antibiotic resistance in natural aquatic environments. In *Environmental Pollution* (Vol. 232, pp. 1–9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.078>
- Garbono, A., Dewi, J., W., W., N., F., & L., N. 2024. Fish Diseases and Environmental Monitoring In Lampung Bay 2023. *The Annual International Conference & Exposition of World Aquaculture Society and Asian Pacific Aquaculture 2024*, 97.
- Gomes, T., Pereira, J. A., Benhadi, J., Lino-Neto, T., & Baptista, P. 2018. Endophytic and Epiphytic Phyllosphere Fungal Communities Are Shaped by Different Environmental Factors in a Mediterranean Ecosystem. *Microbial Ecology*, 76(3), 668–679. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1161-9>

- Gouife, M., Chen, S., Huang, K., Nawaz, M., Jin, S., Ma, R., Wang, Y., Xue, L., & Xie, J. 2022. *Photobacterium damsela* subsp. *damsela* in mariculture. *Aquaculture International*, 30(3), 1453–1480. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00867-x>
- Gould, K. 2016. Antibiotics: From prehistory to the present day. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 71(3), 572–575. <https://doi.org/10.1093/jac/dkv484>
- Gupta, S., Chaturvedi, P., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. 2020. A critical review on exploiting the pharmaceutical potential of plant endophytic fungi. *Biotechnology Advances*, 39. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2019.107462>
- Hajar, S., Yazid, M., Daud, H. M., Noor, M., & Azmai, A. 2021. Estimating the Economic Loss Due to Vibriosis in Net-Cage Cultured Asian Seabass (*Lates calcarifer*): Evidence From the East Coast of Peninsular Malaysia. *Frontiers in Veterinary Science*, 8(October), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.644009>
- Hamzah, T. N. T., Lee, S. Y., Hidayat, A., Terhem, R., Faridah-Hanum, I., & Mohamed, R. 2018. Diversity and characterization of endophytic fungi isolated from the tropical mangrove species, *Rhizophora mucronata*, and identification of potential antagonists against the soil-borne fungus, *Fusarium solani*. *Frontiers in Microbiology*, 9 (JUL), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01707>
- Hamzah, T. N. T., Ozturk, M., Altay, V., & Hakeem, K. R. 2020. Insights into the bioactive compounds of endophytic fungi in mangroves. *Biodiversity and Biomedicine*, 277–292. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819541-3.00015-3>
- Hariati, S., Wahjuningrum, D., Yuhana, M., Tarman, K., Effendi, I., & Saputra, F. 2018. View of Aktivitas Antibakteri Ekstrak Kapang Laut *Nodulisporium* sp. KT29 terhadap *Vibrio harveyi*. *Jurnal Pengelolaan Hasil Perikanan Indonesia* 21 (1). <https://doi.org/https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i2.22855>
- Harpeni, E., Isnansetyo, A., & Istiqomah, I. 2024. Bacterial biocontrol of vibriosis in shrimp : A review. In *Aquaculture International* (Issue March). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01445-z>

- Hastari, I. F., Kurnia, R., & Kamal, M. M. 2017. Analisis Kesesuaian Budi daya KJA Ikan Kerapu Menggunakan Sig di Perairan Ringgung Lampung Suitability Analysis of Floating Cage Culture of Grouper Fish Using Gis in Ringgung Waters of Lampung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9 (1), 151-159.
- Heirina, A., Rozirwan, & Hendri, M. 2020. Isolasi dan aktivitas antibakteri jamur endofit pada mangrove *Sonneratia alba* dari Tanjung Carat Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 22(1), 16–24.
- Hendricks, K. E., Christman, M. C., & Roberts, P. D. 2017. A statistical evaluation of methods of in-vitro growth assessment for *Phyllosticta citricarpa*: Average colony diameter vs. area. *PLoS ONE*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170755>
- Hossain, A., Habibullah-Al-Mamun, M., Nagano, I., Masunaga, S., Kitazawa, D., & Matsuda, H. 2022. Antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and resistance genes in aquaculture: risks, current concern, and future thinking. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(8), 11054–11075. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17825-4>
- Humairoh, T. L., Setyaningrum, I., & Tanaya, O. 2024. Keberlanjutan Blue Economy Melalui Kontribusi Industri Ikan Tangkap Dan Budi daya Ikan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Jawa Timur. *Journal of Economic, Bussines and Accounting (COSTING)*, 7(2), 3443–3452.
- Intriago, P., Medina, A., Espinoza, J., Enriquez, X., Arteaga, K., Aranguren, L. F., Shinn, A. P., & Romero, X. 2023. Acute mortality of *Penaeus vannamei* larvae in farm hatcheries associated with the presence of *Vibrio* sp. carrying the VpPirAB toxin genes. *Aquaculture International*, 31(6), 3363–3382. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01129-0>
- Jha, P., Kaur, T., Chhabra, I., Panja, A., Paul, S., Kumar, V., & Malik, T. 2023. Endophytic fungi: hidden treasure chest of antimicrobial metabolites interrelationship of endophytes and metabolites. *Frontiers in Microbiology*, 14(July), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1227830>
- Julia, Z. R., Sukarno, N., Ardie, S. W., Batubara, I., Tjitrosoedirdjo, S., & Waite, M. 2022. Endophytic Fungi Isolated from the Mangrove Species *Rhizophora apiculata* and Their Efficacy as Herbicides. *HAYATI Journal of Biosciences*, 29(5), 605–620. <https://doi.org/10.4308/hjb.29.5.605-620>

- Jusidin, M. R., Othman, R., Shaleh, S. R. M., Ching, F. F., Senoo, S., & Oslan, S. N. H. 2022. In Vitro Antibacterial Activity of Marine Microalgae Extract against *Vibrio harveyi*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/app12031148>
- Kamil, I., Rustiadi, E., Kusumastanto, T., Anggraini, E. 2021. Kajian Kesesuaian Dan Zonasi Perairan Teluk Lampung Terhadap Daya Dukung Fisik Kawasan Untuk Budi daya Ikan Kerapu Di Karamba Jaring Apung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 13. 457-467. 10.29244/jitkt.v13i3.35577.
- Karpiński, T. M. 2019. Marine Macrolides with Antibacterial and/or Antifungal Activity. *Marine Drugs* 2019, Vol. 17, Page 241, 17(4), 241. <https://doi.org/10.3390/MD17040241>
- Kasanah, N., Ulfah, M., & Rowley, D. C. 2022. Natural products as antivibrio agents: insight into the chemistry and biological activity. *RSC Advances*, 12(53), 34531–34547. <https://doi.org/10.1039/D2RA05076E>
- Kasmiasi, K., Nurunnisa, A. T., Amran, A., Resya, M. I., & Rahmi, M. H. 2022. Antibacterial activity and toxicity of *Halymenia durvillei* red seaweed from Kayangan island, South Sulawesi, Indonesia. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(8), 417–428. <https://doi.org/10.47853/FAS.2022.e38>
- Kauserud, H. 2023. ITS alchemy: On the use of ITS as a DNA marker in fungal ecology. *Fungal Ecology*, 65(July), 101274. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2023.101274>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2023. *KKP / Kementerian Kelautan dan Perikanan*. <https://kkp.go.id/djprl/P4k/Page/4283-Definisi-Dan-Jenis-Mangrove>. <https://kkp.go.id/djprl/bpsplpadang/page/1349-pengenalan-jenis-mangrove>. Diakses tanggal 5 Juli 2023
- Kendrick, B. 2003. Analysis of morphogenesis in hyphomycetes: New characters derived from considering some conidiophores and conidia as condensed hyphal systems. *Canadian Journal of Botany*, 81(2), 75–100. <https://doi.org/10.1139/b03-008>
- Kharaghani, D., Kee Jo, Y., Khan, M. Q., Jeong, Y., Cha, H. J., & Kim, I. S. 2018. Electrospun antibacterial polyacrylonitrile nanofiber membranes functionalized with silver nanoparticles by a facile wetting method.

European Polymer Journal, 108(August), 69–75.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.08.021>

- Kinamot, V. B., & Monotilla, A. P. 2023. Identification And Diversity of Endophytic Fungi Associated With The Seagrasses of Cebu, Central Philippines. *BIOTROPIA*, 30(1), 91–105.
- Kjer, J., Debbab, A., Aly, A. H., & Proksch, P. 2010. Methods for isolation of marine-derived endophytic fungi and their bioactive secondary products. *Nature Protocols* 2010 5:3, 5(3), 479–490.
<https://doi.org/10.1038/nprot.2009.233>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2014. Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 7/Permen-Kp/2014, 64.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. Permen KP No 57 Tahun 2020 Tentang Renstra 2020-2024, 148p (2020).
- Kementerian Kelautan dan Perikanan . 2021. *KKP Kendalikan AMR Di Bidang Perikanan Budi daya Untuk Jamin Keamanan Pangan*. Direktorat Jenderal Perikanan Budi daya. <https://kkp.go.id/djpb/artikel/36080-kkp-kendalikan-amr-di-bidang-perikanan-budi-daya-untuk-jamin-keamanan-pangan>. Diakses tanggal 24 Desember 2023.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2022. Angka Konsumsi Ikan Nasional Tahun 2018-2022. In *Angka Konsumsi Ikan Nasional: Vol. (Issue)*.
<https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=aki&i=209#panel-footer>. Diakses tanggal 4 Februari 2024.
- Klaiklay, S., Rukachaisirikul, V., Sukpondma, Y., Phongpaichit, S., Buatong, J., & Bussaban, B. 2012. Metabolites from the mangrove-derived fungus *Xylaria cubensis* PSU-MA34. *Archives of Pharmacal Research*, 35(7), 1127–1131. <https://doi.org/10.1007/s12272-012-0701-y>
- Kozyrovskaya, N. O. 2013. Crosstalk between endophytes and a plant host within information processing networks. *Biopolymers and Cell*, 29(3), 234–243.
<https://doi.org/10.7124/bc.00081D>

- Kumarage, P. M., De Silva, L. A. D. S., & Heo, G. J. 2022. Aquatic environments: A potential source of antimicrobial-resistant *Vibrio* spp. In *Journal of Applied Microbiology* (Vol. 133, Issue 4, pp. 2267–2279). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jam.15702>
- Kusmana, C., Istomo, Wibowo, C., Budi, S., Siregar, I., Tiryana, T., & Sukardjo, S. 2008. *Manual Silvikultur Mangrove di Indonesia. KOREA INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (KOICA):The Rehabilitation Mangrove Forest and Coastal Area Damage By Tsunami in Aceh Project. March 2017*, 1–209.
- Kustanti, A., Nugroho, B., Nurrochmat, D. R., & Okimoto, Y. 2015. Evolusi Hak Kepemilikan Dalam Pengelolaan Ekosistem Hutan Mangrove Di Lampung Mangrove Center. *RISALAH KEBIJAKAN PERTANIAN DAN LINGKUNGAN: Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian Dan Lingkungan*, 1(3), 143. <https://doi.org/10.20957/jkebijakan.v1i3.10291>
- Kusumaningsih, P., & Diaris, N. M. 2021. Bacterial Identification on Mackerel Tuna (*Euthynnus affinis*) Brine Salting Traded in Tradisional Market of Semarang, Klungkung, Bali. *Jurnal Veteriner*, 22(1), 68–78. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2021.22.1.68>
- Lafferty, K. D., Harvell, C. D., Conrad, J. M., Friedman, C. S., Kent, M. L., Kuris, A. M., Powell, E. N., Rondeau, D., & Saksida, S. M. 2015. Infectious Diseases Affect Marine Fisheries and Aquaculture Economics. *Annual Review of Marine Science*, 7(1), 471–496. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015646>
- Laksmi, F. T., Sukarno, ., Budjianto, S., Rahmawati, S. I., Harmoko, R., Izzati, F. N., Bachri, S., Anidah, ., Nelanda, S. I., Yusmur, A., Aslan, ., & Ilman, M. 2022. Antibacterial Activity Profile Of Mangrove Endophytic Fungi Isolated From Berau Regency, Indonesia. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBI)*, 9(1), 86–99–86–99. <https://doi.org/10.29122/JBBI.V9I1.5040>
- Lattos, A., Giantsis, I. A., Tsavea, E., Kolygas, M., Athanassopoulou, F., & Bitchava, K. 2022. Virulence Genes and In Vitro Antibiotic Profile of *Photobacterium damsela* Strains, Isolated from Fish Reared in Greek Aquaculture Facilities. *Animals*, 12(22), 3133. <https://doi.org/10.3390/ANI12223133/S1>

- Lawrence, D. P., Holland, L. A., Nouri, M. T., Travadon, R., Abramians, A., Michailides, T. J., & Trouillas, F. P. 2018. Molecular phylogeny of *Cytospora* species associated with canker diseases of fruit and nut crops in California, with the descriptions of ten new species and one new combination. *IMA Fungus*, 9(2), 333–370. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2018.09.02.07>
- Le, T. T. M., Hoang, A. T. H., Bich Le, T. T. B., Vo, T. T. B., Quyen, D. Van, & Chu, H. H. 2019. Isolation of endophytic fungi and screening of Huperzine A-producing fungus from *Huperzia serrata* in Vietnam. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52481-2>
- Lotlikar, G., & Naik-Samant, S. 2020. Bactericidal activity of endophytic bacteria isolated from *Acanthus ilicifolius*: a mangrove plant of Divar Island, Goa, against human pathogenic bacteria. *Biotechnological Utilization of Mangrove Resources*, 293–301. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819532-1.00012-3>
- Love, M., Teebken-Fisher, D., Hose, J. E., Farmer, J. J., Hickman, F. W., & Fanning, G. R. 1981. *Vibrio damsela*, a marine bacterium, causes skin ulcers on the damselfish *Chromis punctipinnis*. *Science*, 214(4525), 1139–1140. <https://doi.org/10.1126/science.214.4525.1139>
- Lücking, R., Aime, M. C., Robbertse, B., Miller, A. N., Aoki, T., Ariyawansa, H. A., Cardinali, G., Crous, P. W., Druzhinina, I. S., Geiser, D. M., Hawksworth, D. L., Hyde, K. D., Irinyi, L., Jeewon, R., Johnston, P. R., Kirk, P. M., Malosso, E., May, T. W., Meyer, W., ... Schoch, C. L. 2021. Fungal taxonomy and sequence-based nomenclature. *Nature Microbiology*, 6(5), 540–548. <https://doi.org/10.1038/s41564-021-00888-x>
- Lusiastuti, A. M. 2021. Penggunaan Antibiotika Di Akuakultur Dengan Bijak Untuk Pengendalian Resistansi Anti Mikroba. *Warta Iktiologi*, 5(3), 57–62. <http://iktiologi-indonesia.org/wp-content/uploads/2022/03/11-Angela-M.-Lusiastuti-Penggunaan-Antibiotika-di-Akuakultur-dengan-Bijak.pdf>
- Lusiastuti, A. M., 2023. Penggunaan Antibiotika Yang Benar dan Aman Untuk Kesehatan Ikan Sebagai Antisipasi Resistansi Mikroba dan Residu. *Webinar Pusat Riset Veteriner*. Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- Lutfiah, R. 2022. Senyawa Bioaktif Dari Fungi Endofit Mangrove Dan Spons Sebagai Antibakteri Terhadap. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung: Bandar Lampung

- Luu, Q. H., Nguyen, T. B. T., Nguyen, T. L. A., Do, T. T. T., Dao, T. H. T., & Padungtod, P. 2021. Antibiotics use in fish and shrimp farms in Vietnam. *Aquaculture Reports*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100711>
- Manchanayake, T., Salleh, A., Amal, M. N. A., Yasin, I. S. M., & Zamri-Saad, M. 2023. Pathology and pathogenesis of *Vibrio* infection in fish: A review. *Aquaculture Reports*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101459>
- Manganyi, M. C., & Ateba, C. N. 2020. Untapped Potentials of Endophytic Fungi: A Review of Novel Bioactive Compounds with Biological Applications. *Microorganisms*, 8(12), 1–25. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121934>
- Mao, Z., Yang, P., Liu, H., Mao, Y., Lei, Y., Hou, D., Ma, H., Liao, X., & Jiang, W. 2022. Whole-Genome Sequencing and Analysis of the White-Rot Fungus *Ceriporia lacerata* Reveals Its Phylogenetic Status and the Genetic Basis of Lignocellulose Degradation and Terpenoid Synthesis. *Frontiers in Microbiology*, 13(May), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.880946>
- Marpaung, S. S. M., Yunasfi, & Basyuni, M. 2022. Pengelolaan Hutan Mangrove Berbasis Silvofishery di Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 8949–8960.
- Microbiology Society. 2015. Observing fungi in a Petri dish. In *Society for General Microbiology* (pp. 1–6). <http://www.microbiologyonline.org.uk/teachers/observing-microbes/observing-fungi-in-a-petri-dish>
- Mohamad, N., Amal, M. N. A., Yasin, I. S. M., Saad, M. Z., Nasruddin, N. S., Alsaari, N., Mino, S., & Sawabe, T. 2019. Vibriosis in cultured marine fishes: a review. *Aquaculture*, 512, 734289. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734289>
- Moron, L. S., Lim, Y.-W., & Cruz, T. E. E. Dela. 2018. Antimicrobial activities of crude culture extracts from mangrove fungal endophytes collected in Luzon Island, Philippines. *Philippine Science Letters*, 11, 28.

- Mulyani, Y., Wulandari, A. P., Sinaga, S. E., Safriansyah, W., Azhari, A., Purbaya, S., Abdullah, F. F., Farabi, K., Shiono, Y., & Supratman, U. 2023. Antibacterial activities and molecular identification of endophytic fungi isolated from mangrove *Avicennia marina*. *Biodiversitas*, 24(12), 6923–6933. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241254>
- Muurinen, J., Muziasari, W. I., Hultman, J., Pärnänen, K., Narita, V., Lyra, C., Fadlillah, L. N., Rizki, L. P., Nurmi, W., Tiedje, J. M., Dwiprahasto, I., Hadi, P., & Virta, M. P. J. 2022. Antibiotic Resistomes and Microbiomes in the Surface Water along the Code River in Indonesia Reflect Drainage Basin Anthropogenic Activities. *Environmental Science and Technology*, 56(21), 14994–15006. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01570>
- Nangi, G.M., Yanti, F., Lestari, S.A. 2019. *Dasar epidemiologi*. Dee Publish. 87 p. Yogyakarta.
- Nehdi, A., Samman, N., Aguilar-Sánchez, V., Farah, A., Yurdusev, E., Boudjelal, M., & Perreault, J. 2020. Novel Strategies to Optimize the Amplification of Single-Stranded DNA. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8(May), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00401>
- Noor, S., Begum, N., Rony, S. R., Uddin, M. Z., Sohrab, H., & Mazid, A. 2024. Bioactivity and chemical screening of endophytic fungi associated with the seaweed *Ulva* sp. of the Bay of Bengal, Bangladesh. *Botanica Marina*, 67(2), 115–129. <https://doi.org/10.1515/bot-2023-0040>
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. (2007). *Panduan Pengenalan Mangrove Indonesia* (Issue May). PHKA/WI-IP, Bogor.
- Norphanphoun, C., Jayawardena, R. S., Chen, Y., Wen, T. C., Meepol, W., & Hyde, K. D. 2019. Morphological and phylogenetic characterization of novel pestalotioid species associated with mangroves in Thailand. *Mycosphere*, 10(1), 531–578. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/10/1/9>
- Norphanphoun, C., Raspé, O., Jeewon, R., Wen, T. C., & Hyde, K. D. 2018. Morphological and phylogenetic characterisation of novel cytospora species associated with mangroves. *MycoKeys*, 38(August), 93–120. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.38.28011>

- Nurchayani, E., Irawan, B., Sari, E. Y., & Sari, L. 2019. Analisis Pola DNA Planlet Cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) Hasil Induced Resistance Terhadap *Fusarium oxysporum*. *Jurnal of Tropikal Upland Resources*, 01(01), 93–102.
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., & Hidayatulloh, A. 2020. Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 1(2), 41. <https://doi.org/10.24198/jthp.v1i2.27537>
- Nwobodo, D. C., Ugwu, M. C., Oliseloke Anie, C., Al-Ouqaili, M. T. S., Chinedu Ikem, J., Victor Chigozie, U., & Saki, M. 2022. Antibiotic resistance: The challenges and some emerging strategies for tackling a global menace. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36(9), 1–10. <https://doi.org/10.1002/jcla.24655>
- Octaviani, E. A., & Sari, N. A. 2022. Analisis Vegetasi dan Estimasi Karbon Tersimpan pada Zona Pulau Mangrove Kawasan Ekowisata Mangrove Petengoran di Desa Gebang, Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 6(2), 22–29.
- Omomowo, I. O., Amao, J. A., Abubakar, A., Ogundola, A. F., Ezediuno, L. O., & Bamigboye, C. O. 2023. A review on the trends of endophytic fungi bioactivities. *Scientific African*, 20, e01594. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2023.E01594>
- Pérez-Sánchez, T., Mora-Sánchez, B., & Balcázar, J. L. 2018. Biological Approaches for Disease Control in Aquaculture: Advantages, Limitations and Challenges. *Trends in Microbiology*, 26(11), 896–903. <https://doi.org/10.1016/J.TIM.2018.05.002>
- Petrova, M., & Petrov, P. 2021. A New Method For Manual Measurements Of Inhibition Zones With The Bauer-Ki. 50, 185–190: *Proceedings of the Fiftieth Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematicians: Bulgaria*

- Pham, D. K., Chu, J., Do, N. T., Brose, F., Degand, G., Delahaut, P., De Pauw, E., Douny, C., Van Nguyen, K., Vu, T. D., Scippo, M. L., & Wertheim, H. F. L. 2015. Monitoring Antibiotic Use and Residue in Freshwater Aquaculture for Domestic Use in Vietnam. *EcoHealth*, 12(3), 480–489. <https://doi.org/10.1007/s10393-014-1006-z>
- Pham, T. H., Cheng, T. C., Wang, P. C., & Chen, S. C. 2020. Genotypic diversity, and molecular and pathogenic characterization of *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* isolated from different fish species in Taiwan. *Journal of Fish Diseases*, 43(7), 757–774. <https://doi.org/10.1111/jfd.13173>
- Poulsen, C. S., Kaas, R. S., Aarestrup, F. M., & Pamp, S. J. 2021. Standard Sample Storage Conditions Have an Impact on Inferred Microbiome Composition and Antimicrobial Resistance Patterns. *Microbiology Spectrum*, 9(2). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01387-21>
- Prasetyo, O. : D., Darmawan, A., & Dewi, B. S. 2019. Persepsi Wisatawan dan Individu Kunci tentang Pengelolaan Ekowisata di Lampung Mangrove Center (Perceptions of Tourists and Key Individuals on Ecotourism Management in Lampung Mangrove Center). *Jurnal Sylva Lestari*, 7(1), 22–29. <https://doi.org/10.23960/JSL1722-29>
- Pratama, M. A., Pambudi, M. A. S., Bachtiar, E., Ismail, M. R., Mulyani, Y., Arsad, S., & Prasetya, F. S. 2021. Study of Phytochemistry and Potential of Endophyte Fungi Extract in *Avicennia marina* Roots as Antioxidants Inhibiting Early Aging. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 11(1), 37–46. <https://doi.org/10.20473/jafh.v11i1.24502>
- Puslitbang DPR RI. 2024. *Isu Sepekan: Peluang peningkatan produktivitas sektor kelautan dan perikanan di tahun 2024* (Issue 1).
- Puspitasari, D., Wibowo, A., Rahayu, S., Prihatini, I., & Rimbawanto, A. 2016 . Karakter Morfologi Isolat *Phlebiopsis* Sp . 1 Jamur Pengendali Hayati yang Potensial untuk *Ganoderma philippii* . *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* 10(1), 51–61.
- Putri, S. D. K., Susilowati, A., & Setyaningsih, R. 2017. In vitro testing of antibacterial activity of extracts of seed cardamom (*Amomum compactum*) against by *Aeromonas hydrophila*. *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*, 14(1), 10–18. <https://doi.org/10.13057/biofar/f140102>

- Ragab, R. H., Elgendy, M. Y., Sabry, N. M., Sharaf, M. S., Attia, M. M., Korany, R. M. S., Abdelsalam, M., Eltahan, A. S., Eldessouki, E. A., El-Demerdash, G. O., Khalil, R. H., Mahmoud, A. E., & Eissa, A. E. 2022. Mass kills in hatchery-reared European seabass (*Dicentrarchus labrax*) triggered by concomitant infections of *Amyloodinium ocellatum* and *Vibrio alginolyticus*. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 10(1), 33–45. <https://doi.org/10.1080/23144599.2022.2070346>
- Raja, H. A., Miller, A. N., Pearce, C. J., & Oberlies, N. H. 2017. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community. *Journal of Natural Products*, 80(3), 756–770. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01085>
- Rajamanikyam, M., Vadlapudi, V., Amanchy, R., & Upadhyayula, S. M. 2017. Endophytic fungi as novel resources of natural therapeutics. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60(December), 1–26. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160542>
- Raman, R. P., Prakash, C., Makesh, M., & Pawar, N. A. 2013. Environmental stress mediated diseases of fish: an overview. *Advances in Fish Research*, 5(January), 141–158.
- Rameshkumar, P., Kalidas, C., Tamilmani, G., Sakthivel, M., Nazar, A. K. A., Maharshi, V. A., Rao, K. S., & Gopakumar, G. 2013. Microbiological and histopathological investigations of *Vibrio alginolyticus* infection in cobia *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766) cultured in sea cage. *Indian Journal of Fisheries*, 61(1), 124–127. <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJF/article/view/16405%5Cnhttp://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJF/article/download/16405/17827>
- Rita, A., & Dwi, T. 2023. Kebijakan Ekonomi Biru Kementerian Kelautan dan Perikanan Peranan Sektor Kelautan dan Perikanan di Indonesia. In *Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia*.
- Rivai, H., Handayani, D., Tifani, R., Eriadi, A., & Rasyid, R. 2018. Screening of Antimicrobial and Cytotoxic Activities of Endophytic Fungi Isolated from Mangrove Plant *Rhizophora mucronata* Lam. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine*, 3(3), 9–20.

- Rivas, A. J., Lemos, M. L., & Osorio, C. R. 2013. *Photobacterium damsela* subsp. *damsela*, a bacterium pathogenic for marine animals and humans. *Frontiers in Microbiology*, 4(SEP), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00283>
- Robles, M. F. H., Álvarez-Contreras, A. K., Juárez-García, P., Natividad-Bonifacio, I., Curiel-Quesada, E., Vázquez-Salinas, C., & Quiñones-Ramírez, E. I. 2016. Virulence factors and antimicrobial resistance in environmental strains of *Vibrio alginolyticus*. *International Microbiology : The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology*, 19(4), 191–198. <https://doi.org/10.2436/20.1501.01.277>
- Rodriguez, R. J., White, J. F., Arnold, A. E., & Redman, R. S. 2009. Fungal endophytes: Diversity and functional roles: Tansley review. *New Phytologist*, 182(2), 314–330. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x>
- Rustamova, N., Bozorov, K., Efferth, T., & Yili, A. 2020. Novel secondary metabolites from endophytic fungi: synthesis and biological properties. *Phytochemistry Reviews*, 19(2), 425–448. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09672-x>
- Sampaio, A., Silva, V., Poeta, P., & Aonofriesei, F. 2022. *Vibrio spp.: Life Strategies, Ecology, and Risks in a Changing Environment*. <https://doi.org/10.3390/d14020097>
- Sampson, S. 2024. *FAO Report Global Fisheries and Aquaculture Production Reaches a New Record High*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/en>. Diakses tanggal 17 September 2023.
- Sanjaya, A., Setiawan, A., Wulandari, C., Safe'i, R., Dewi, B. S., & Abidin, Z. 2022. Kajian Dimensi Ekologi Kawasan Hutan Mangrove Petengoran Untuk Ekowisata Di Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung. In D. M. Tatoglu (Ed.), *International Black Sea Modern Scientific Research Congress* (p. 368).
- Saptiani, G., Asikin, A. N., Ardhani, F., & Hardi, E. H. 2018. Tanaman Bakau Api-api Putih (*Avicenia marina*) Berpotensi Menghambat Mikrob Patogen dan Melindungi Post Larva Udang Windu (The Potential Of *Avicennia marina* To Inhibits Pathogen Microbes And Protects The Post Larva Of Tiger Prawn). *Jurnal Veteriner*, 19(1), 45. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2018.19.1.45>

- Saptiani, G., Asikin, A. N., Ardhani, F., & Hardi, E. H. 2019. The potential of *Rhizophora mucronata* extracts to protect tiger prawn from pathogenetic infections. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 339(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/339/1/012049>
- Sari, Zada, A. A., & Febriawan, R. 2021. Perbedaan Hasil Uji Aktivitas Antibakteri Metode Well Diffusion dan Kirby Bauer terhadap Pertumbuhan Bakteri. *Jurnal Medika Hutama*, 02(04), 1156–1162.
- Sarmiento, P. C. J., Reis, F. Y. T., Egger, R. C., de Pádua, S. B., Marcelino, S. A. C., Cunha, J. L. R., Pierezan, F., Figueiredo, H. C. P., & Tavares, G. C. 2024. First Report of *Vibrio vulnificus* Outbreak in Farm-Raised Sorubim (*Pseudoplatystoma* sp.) from Brazil. *Fishes*, 9(2), 1–11. <https://doi.org/10.3390/fishes9020054>
- Sastrahidayat, I. R. 2011. Mikologi (Ilmu Jamur) - Google Books. In *Universitas Brawijaya Press* (pp. 1–372). <https://play.google.com/books/reader?id=AOmZDwAAQBAJ&pg=GBS.PA1&hl=en>
- Schar, D., Zhao, C., Boeckel, T. P. Van, Larsson, D. G. J., & Gilbert, M. 2021. from aquaculture and fisheries in Asia. *Nature Communications*, 6–15. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25655-8>
- Senés-Guerrero, C., Giménez, S., Pacheco, A., Gradilla-Hernández, M. S., & Schüßler, A. 2020. New MiSeq based strategy exposed plant-preferential arbuscular mycorrhizal fungal communities in arid soils of Mexico. *Symbiosis*, 81(3), 235–246. <https://doi.org/10.1007/s13199-020-00698-5>
- Shao, P., Yong, P., Zhou, W., Sun, J., Wang, Y., Tang, Q., Ren, S., Wu, Z., Zhao, C., Xu, Y., & Wang, X. 2019. First isolation of *Photobacterium damsela* subsp. *damsela* from half-smooth tongue sole suffering from skin-ulceration disease. *Aquaculture*, 511, 734208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734208>
- Shazwan, K. S., Shahari, R., Amri, C. N. A. ., Kassim, Z., & Ahmad, Z. 2021. Morphological Structures Of *Rhizophora apiculata* Blume and *Rhizophora mucronata* Lam. *Science Heritage Journal (GWS)*, 5(1), 1–4. <https://doi.org/10.26480/gws.01.2021.01.04>

- Sibero, M. T., Sahara, R., Syafiqoh, N., & Tarman, K. 2017. Antibacterial Activity Of Red Pigment Isolated From Coastal Endophytic Fungi Against Multi-Drug Resistant Bacteria. *BIOTROPIA - The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*, 24(2), 161–172. <https://doi.org/10.11598/BTB.2017.24.2.725>
- Silva, D. P. D., Cardoso, M. S., & Macedo, A. J. 2022. Endophytic Fungi as a Source of Antibacterial Compounds-A Focus on Gram-Negative Bacteria. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 11(11), 1509. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS11111509>
- Sittisart, P., Yossan, S., & Prasertsan, P. 2017. Antifungal property of chili, shallot and garlic extracts against pathogenic fungi, *Phomopsis* spp., isolated from infected leaves of para rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Agriculture and Natural Resources*, 51(6), 485–491. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.03.005>
- Situmorang, D. A. G., Rozirwan, R., & Hendri, M. 2021. Isolasi dan aktivitas antibakteri jamur endofit pada mangrove *Avicennia marina* dari Pulau Payung Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 23(3), 125. <https://doi.org/10.56064/jps.v23i3.661>
- Sopalun, K., Laosripaiboon, W., Wachirachaikarn, A., & Iamtham, S. 2021. Biological potential and chemical composition of bioactive compounds from endophytic fungi associated with thai mangrove plants. *South African Journal of Botany*, 141, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.04.031>
- Strobel, G. 2018. The emergence of endophytic microbes and their biological promise. *Journal of Fungi*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/jof4020057>
- Subagiyo, S., Djarod, M. S. R., & Setyati, W. A. 2017. Potensi Ekosistem Mangrove Sebagai Sumber Bakteri Untuk Produksi Protease, Amilase Dan Selulase. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(2), 106-111. <https://doi.org/10.14710/jkt.v20i2.1703>

- Suciatmih, S. 2015. Diversity of endophytic fungi in mangrove plants on Sampiran Beach and Bunaken Island, North Sulawesi. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 1(2), 177–183. <https://doi.org/10.13057/PSNMBI/M010202>
- Sukmarani, D., Proklamasiningsih, E., Susanto, A. H., Ardli, E. R., Permadi, J., & Palimirmo, F. S. 2023. Morphological and Genetic Diversity of Mangrove Species *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. Around Java Island. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 28(4), 334–350. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.4.334-350>
- Sulistiyono, F. D., & Mahyuni, S. 2019. Isolasi Dan Identifikasi Jamur Endofit Pada Umbi Talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schoot). *Jurnal Sains Natural*, 9(2), 66. <https://doi.org/10.31938/jsn.v9i2.235>
- Supriyanto, S., Indriyanto, I., & Bintoro, A. 2014. Inventarisasi Jenis Tumbuhan Obat Di Hutan Mangrove Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*, 2(1), 67–76. <https://doi.org/10.23960/JSL1267-76>
- Syarifah, Elfita, Widjajanti, H., Setiawan, A., & Kurniawati, A. R. 2021. Diversity of endophytic fungi from the root bark of *Syzygium zeylanicum*, and the antibacterial activity of fungal extracts, and secondary metabolite. *Biodiversitas*, 22(10), 4572–4582. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221051>
- Talukdar, R., Wary, S., Mili, C., Roy, S., & Tayung, K. 2020. Antimicrobial secondary metabolites obtained from endophytic fungi inhabiting healthy leaf tissues of *Houttuynia cordata* Thunb., an ethnomedicinal plant of Northeast India. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 10(9), 99–106. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2020.10912>
- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Tang, Y., Lou, X., Yang, G., Tian, L., Wang, Y., & Huang, X. 2022. Occurrence and human health risk assessment of antibiotics in cultured fish from 19 provinces in China. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12(August), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.964283>

- Tangapo, A. M., Mambu, S. M., Kolondam, B., Pasappa, N., & Pelealu, J. 2022. Eksplorasi Fungi Endofit Tumbuhan Mangrove *Avicennia marina* sebagai Penghasil Senyawa Antibakteri. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 13(2). <https://doi.org/10.20956/JAL.V13I2.22341>
- Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A., & Asiegbu, F. O. 2019. Forest tree microbiomes and associated fungal endophytes: Functional roles and impact on forest health. *Forests*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/f10010042>
- Tomlinson, P. B., & Tomlinson, P. B. 1994. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press.
- Tridawati, A., & Novianti, T. C. 2023. *Pemetaan Distribusi Hutan Mangrove Menggunakan Algoritma Machine Learning di Kawasan Hutan Mangrove Petengoran*. 17(2), 84–99.
- Vasundhara, M., Sudhakara Reddy, M., & Kumar, A. 2019. Secondary metabolites from endophytic fungi and their biological activities. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Microbial Secondary Metabolites Biochemistry and Applications* (pp. 237–258). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63504-4.00018-9>
- Vittaya, L., Charoendat, U., Janyong, S., Ui-eng, J., & Leesakul, N. 2022. Comparative analyses of saponin, phenolic, and flavonoid contents in various parts of *Rhizophora mucronata* and *Rhizophora apiculata* and their growth inhibition of aquatic pathogenic bacteria. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12,(11), 111–121. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.121113>
- Wang, C., Tang, S., & Cao, S. 2021. Antimicrobial compounds from marine fungi. *Phytochemistry Reviews*, 20(1), 85–117. <https://doi.org/10.1007/S11101-020-09705-5>
- Wang, L., Ren, L., Li, C., Gao, C., Liu, X., Wang, M., & Luo, Y. 2019. Effects of endophytic fungi diversity in different coniferous species on the colonization of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae). *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41419-3>

- Wang, Y., & Guo, L. D. 2007. A comparative study of endophytic fungi in needles, bark, and xylem of *Pinus tabulaeformis*. *Canadian Journal of Botany*, 85(10), 911–917. <https://doi.org/10.1139/B07-084>
- Warsidah, W., Sofiana, M. S. J., Safitri, I., & Nurdiansyah, S. I. 2023. Fraksinasi dan Potensi Antioksidan dari Ekstrak Protein Kasar dari Spons *Haliclona* sp Asal Perairan Spermonde Sulawesi Selatan. *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 15(2), 76–82. <https://doi.org/10.22437/jisic.v15i2.25557>
- Widyaputri, W., Qurniati, R., & Firdasari. 2022. Pengelolaan Mangrove Petengoran sebagai Objek Ekowisata di Desa Gebang Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Seminar Nasional Konservasi II*, 134–140.
- World Health Organization. 2022. *Antimicrobial resistance*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>. diakses tanggal 20 Desember 2023.
- Wulan, D. T. R. I., Sutanta, M., & Sophian, A. 2021. Short Communication : Comparison of two commercial DNA extraction kit to obtain high quality porcine DNA. *Asian Journal Trop Biotechnol*, 18(2), 69–72. <https://doi.org/10.13057/biotek/c180203>
- Xu, T., Song, Z., Hou, Y., Liu, S., Li, X., Yang, Q., & Wu, S. 2022. Secondary metabolites of the genus *Nigrospora* from terrestrial and marine habitats: Chemical diversity and biological activity. *Fitoterapia*, 161(May), 105254. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2022.105254>
- Yang, H., Zhao, X., Li, L., & Zhang, J. 2020. Detecting the colonization of ericoid mycorrhizal fungi in *Vaccinium uliginosum* using in situ polymerase chain reaction and green fluorescent protein. *Plant Methods*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00645-x>
- Yanti, F., & Rosmania. 2020. Perhitungan jumlah bakteri di laboratorium mikrobiologi menggunakan pengembangan metode Spektrofotometri. *Jurnal Penelitian Sains*, 22(2), 76–86. <http://ejurnal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/indeks>

- Yuan, J., Ni, M., Liu, M., Zheng, Y., & Gu, Z. 2019. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in a typical estuary aquaculture region of Hangzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 138(August 2018), 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.037>
- Zhang, C., & Straight, P. D. 2019. Antibiotic discovery through microbial interactions. *Current Opinion in Microbiology*, 51, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2019.06.006>
- Zheng, L. bing, Li, Y. xin, & Su, Y. quan. 2023. Antibacterial activity study of a novel piscidin 5-like type 4 from *Larimichthys crocea*. *Fish and Shellfish Immunology*, 135(March), 108645. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108645>
- Zhou, J., Feng, Z., Zhang, W., & Xu, J. 2022. Evaluation of the antimicrobial and cytotoxic potential of endophytic fungi extracts from mangrove plants *Rhizophora stylosa* and *Rhizophora mucronata*. *Scientific Reports 2022 12:1*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06711-9>
- Zhu, C., Lin, Y., Wang, Z., Luo, W., Zhang, Y., & Chu, C. 2023. Community assembly and network structure of epiphytic and endophytic phyllosphere fungi in a subtropical mangrove ecosystem. *Frontiers in Microbiology*, 14(March). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1147285>
- Zhu, Z. M., Dong, C. F., Weng, S. P., & He, J. G. 2018. The high prevalence of pathogenic *Vibrio harveyi* with multiple antibiotic resistance in scale drop and muscle necrosis disease of the hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* (♀) × *E. lanceolatus* (♂), in China. *Journal of Fish Diseases*, 41(4), 589–601. <https://doi.org/10.1111/jfd.12758>
- Zivkovic, M., Dayanir, V., Kocaturk, T., Zlatanovic, M., Zlatanovic, G., Jaksic, V., Radenkovic, M., Jovanovic, P., Sefic Kasumovic, S., Golubovic, M., & Jovanovic, S. (2017). Foveal Avascular Zone in Normal Tension Glaucoma Measured by Optical Coherence Tomography Angiography. *BioMed Research International*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3079141>
- Zuhdy, A.N.A. 2023. Bioprospeksi Jamur Endofit Pada Mangrove Di Habitat Lampung Mangrove Center Sebagai Antibakteri Alami. *Tesis. Magister Ilmu Lingkungan. Fakultas Pascasarjana. Universitas Lampung: Bandar Lampung.*