



STUDI AKTIVITAS ANTIBAKTERI DARI EKSTRAK DAN METABOLIT SEKUNDER JAMUR ENDOFIT GENUS *FUSARIUM*

¹Ni Komang Asri Widayanti ²I Putu Yogi Astara Putra

³Ni Putu Ariantari

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Indonesia

²Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Indonesia

³Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Indonesia

Email: putu_ariantari@unud.ac.id

Abstract— Senyawa bahan alam (*natural products*) merupakan senyawa kimia atau zat yang diproduksi dari organisme hidup, salah satunya berasal dari mikroorganisme. Diantara berbagai jenis mikroorganisme, jamur endofit merupakan salah satu organisme yang diteliti secara intensif dalam dua dekade terakhir. Jamur endofit adalah mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman, seperti bunga, akar, daun, batang, hingga biji, dan tidak merugikan inangnya. Salah satu jamur endofit yang dikaji bioaktivitasnya berasal dari genus *Fusarium*. *Fusarium* merupakan salah satu genus jamur yang berfilamen dan banyak ditemukan pada tumbuhan. Jamur *Fusarium* dapat berinteraksi dengan tanaman inangnya dengan berbagai cara. Beberapa strain endofit *Fusarium* diketahui dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, meningkatkan produktivitas, atau membantu tanaman bertahan dalam kondisi lingkungan yang buruk. Strain endofit *Fusarium* dilaporkan dapat menghasilkan senyawa bioaktif yang memiliki potensi farmasi atau bioteknologi, seperti senyawa dengan aktivitas antibakteri. Artikel ini mengkaji aktivitas antibakteri dari ekstrak dan metabolit sekunder yang dihasilkan jamur endofit dari genus *Fusarium* berdasarkan data publikasi ilmiah selama 10 tahun terakhir (2013-2023). Kajian ini disusun berdasarkan studi literatur dari jurnal nasional dan internasional menggunakan basis data *Google Scholar* dan *Science Direct*. Pencarian jurnal menggunakan kata kunci seperti “*endophytic fungi from Fusarium*”, “*antibacterial of endophytic fungi from Fusarium*”, dan “*antimicrobial endophytic Fusarium*”. Hasil kajian menunjukkan sebanyak 14 spesies jamur endofit dari genus *Fusarium* mampu menghasilkan metabolit yang memiliki aktivitas antibakteri. Bioaktivitas antibakteri yang dihasilkan dari metabolit sekunder jamur endofit genus *Fusarium* tersebut diuji dengan metode difusi dan mikrodilusi. Penggalan senyawa dari jamur endofit genus *Fusarium* potensial dilakukan dalam upaya penemuan molekul bioaktif antibakteri dari genus ini.

Kata Kunci— Antibakteri, Jamur endofit, *Fusarium*

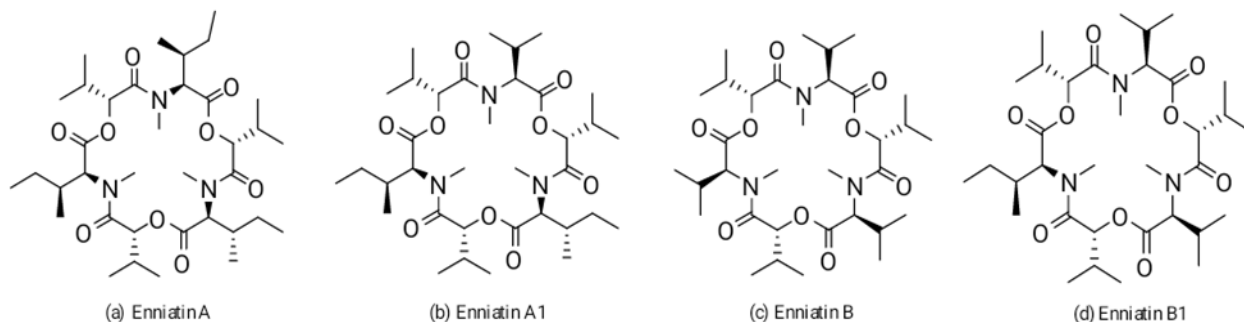
I. PENDAHULUAN

Resistensi antibiotik merupakan salah satu masalah kesehatan secara global. Resistensi antibiotik dapat terjadi ketika antibiotik kehilangan efisiensinya untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme [1]. Meningkatnya kejadian resistensi antibiotik menjadi salah satu faktor yang mendorong para peneliti untuk berinovasi dalam mengurangi resistensi antibiotik. Salah satu upaya yang dilakukan adalah pemanfaatan bahan alam sebagai media untuk mengisolasi senyawa antibiotik baru. Senyawa kimia dari alam (*natural products*) dikenal sebagai sumber senyawa dengan struktur unik yang dihasilkan dari evolusi alami, dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai senyawa obat baru [2]. Tantangan dalam eksplorasi *natural products* adalah eksploitasi tanaman inang yang dapat

membahayakan keberadaannya di alam. Cara alternatif untuk mencegah eksploitasi tanaman inang dalam produksi metabolitnya yaitu memanfaatkan jamur endofit.

Jamur endofit merupakan mikroorganisme yang berasosiasi pada jaringan hidup tumbuhan melalui simbiosis mutualisme tanpa menimbulkan gejala penyakit terhadap inangnya. Jamur endofit adalah mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman, seperti bunga, akar, daun, batang, hingga biji. Sampel tanaman inang yang dipilih biasanya berasal dari tanaman dengan riwayat pemanfaatan sebagai etnomedisin untuk tujuan terapi tertentu seperti antibakteri [2]. Tanaman yang hidup di daerah dengan keanekaragaman hayati tinggi seperti daerah tropis juga memiliki potensi yang baik untuk dimanfaatkan sebagai sampel tanaman inang dalam isolasi jamur endofit. Salah satu jamur endofit yang memiliki potensi sebagai sumber senyawa bioaktif berasal dari genus *Fusarium*.

Genus *Fusarium* adalah salah satu genus jamur endofit yang keberadaannya paling melimpah, terdiri dari sekitar 70 spesies, yang memiliki karakteristik genetika berbeda dan kemampuan untuk tumbuh pada berbagai substrat, yang tidak hanya mempengaruhi keanekaragaman biologis dan interaksinya dengan organisme di sekitarnya, tetapi juga keanekaragaman metabolisme sekunder dari masing-masing spesies. Berbagai spesies dari genus *Fusarium* merupakan sumber metabolit sekunder dengan keragaman struktural dan kimia yang dilaporkan menunjukkan aktivitas farmakologis seperti antimikroba [3]. Salah satu metabolit sekunder yang dihasilkan dari berbagai spesies jamur genus *Fusarium* dan dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba adalah derivat enniatin. Bahkan sediaan farmasi “Fusafungin” yang mengandung campuran senyawa enniatin A-C pernah beredar di pasaran dan diindikasikan untuk pengobatan infeksi saluran pernafasan atas. Hanya saja, sediaan tersebut ditarik dari pasaran tahun 2016 karena munculnya reaksi alergi yang serius pada pasien-pasien yang sensitif. Metabolit sekunder enniatin juga ditemukan pada penelitian kami sebelumnya mengenai metabolit sekunder dari strain *Fusarium* sp. BZCB-CA yang diisolasi dari tanaman *Bothriospermum chinense* [5]. Beberapa derivat enniatin yang dihasilkan dari genus *Fusarium* ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Stuktur kimia beberapa derivat senyawa enniatin yang memiliki aktivitas antibakteri

Kajian artikel ini bertujuan memaparkan data terkini mengenai potensi metabolit sekunder dari ekstrak jamur endofit *Fusarium* yang memiliki bioaktivitas antibakteri, yang berpeluang untuk diinvestigasi lebih lanjut baik dari aspek kimiawi maupun mekanisme aksi antibakterinya. Dengan berkembangnya kimia komputasi, modifikasi struktur terhadap senyawa-senyawa bioaktif antibakteri yang telah ditemukan untuk meningkatkan potensi farmakologisnya atau mengurangi toksisitasnya, potensial dilakukan sebagai salah satu upaya untuk penemuan kandidat antibakteri dari bahan alam.

II. METODE DAN PROSEDUR

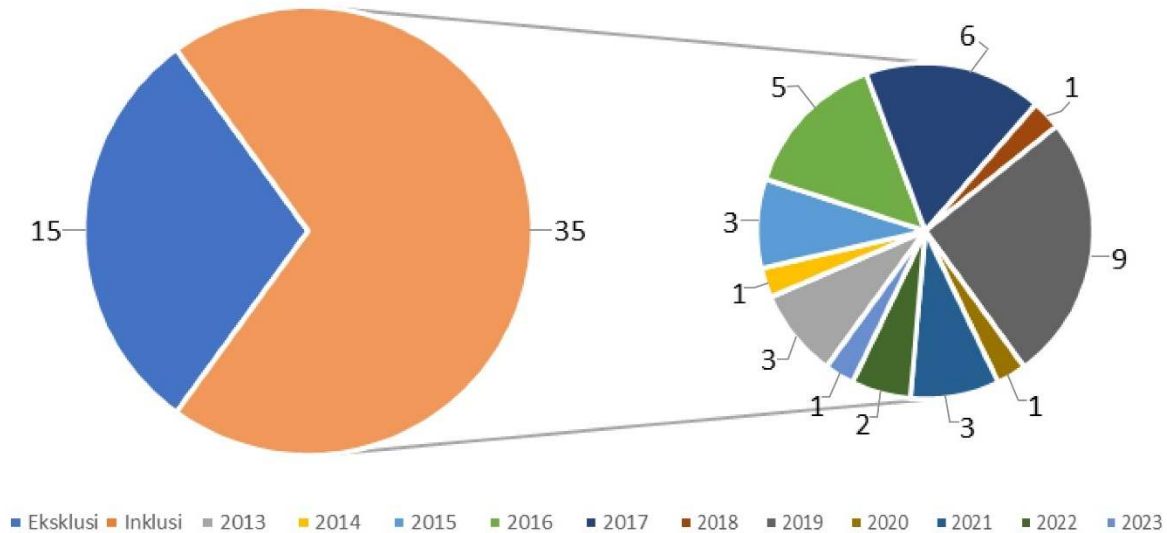
Penyusunan artikel kajian ini menggunakan metode studi literatur dengan sumber data yang merupakan hasil penelitian dipublikasikan dalam jurnal nasional dan internasional. Pencarian artikel menggunakan basis data *Google Scholar* dan *Science Direct*. Pencarian jurnal menggunakan kata kunci seperti “*endophytic fungi from Fusarium*”, “*antibacterial of endophytic fungi from Fusarium*”, dan “*antimicrobial endophytic Fusarium*”. Sumber atau referensi yang diperoleh dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Penetapan kriteria inklusi yaitu data berupa jurnal baik nasional, internasional dan artikel ilmiah yang melaporkan hasil penelitian jamur endofit dari genus *Fusarium* sebagai antibakteri, serta dipublikasikan dalam rentang 10 tahun terakhir (2013 - 2023). Kriteria eksklusinya yaitu jurnal nasional maupun internasional dan artikel ilmiah yang dipublikasikan lebih dari 10 tahun yang lalu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Antibakteri adalah senyawa yang dapat mengendalikan pertumbuhan bakteri yang bersifat patogen. Pengendalian pertumbuhan bakteri memiliki tujuan untuk mencegah terjadinya infeksi dan penyebaran penyakit [6]. Beberapa penyakit yang dapat disebabkan oleh bakteri antara lain bisul, selulitis, gastroenteritis akut, meningitis, diare, dan jerawat. Terapi untuk penyakit yang disebabkan oleh infeksi bakteri baik kasus sedang hingga parah yaitu dengan pemberian antibiotik. Berbagai antibiotik yang ada memiliki potensi yang besar terhadap mikroorganisme yang sensitif, tetapi kehilangan aktivitasnya melawan strain bakteri patogen yang resisten.

Berbagai metabolit sekunder yang diisolasi dari jamur endofit *Fusarium* telah dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*, *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus carnosus*, *Escherichia coli*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. Mikroorganisme ini dapat menyerang kulit, saluran pernapasan, selaput lendir, saluran pencernaan yang menyebabkan infeksi lokal maupun invasif. Jika dibiarkan, maka infeksi dapat menyebar ke jaringan sekitarnya dan lesi kecil menjadi jauh lebih besar [20]. Oleh karena itu, pada artikel ini dikaji beberapa hasil penelitian terkait aktivitas antibakteri jamur endofit dari genus *Fusarium*. Hasil kajian dibedakan berdasarkan uji antibakteri yang dilakukan, yaitu pengujian dengan metode mikrodilusi dan metode difusi.

Berdasarkan literatur dari 50 jurnal yang meneliti tentang jamur endofit dari genus *Fusarium* yang memiliki aktivitas antibakteri, 35 jurnal memenuhi kriteria inklusi sedangkan 15 jurnal tidak memenuhi kriteria inklusi. Distribusi publikasi yang memenuhi kriteria inklusi per-tahunnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi Publikasi 10 Tahun Terakhir (Rentang Tahun 2013-2023) mengenai Jamur Endofit dari genus *Fusarium* yang mempunyai Aktivitas Antibakteri.

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan dari 14 spesies jamur endofit *Fusarium*, didapatkan 12 metabolit sekunder yang mempunyai aktivitas antibakteri.

A. AKTIVITAS ANTIBAKTERI YANG DIHASILKAN OLEH JAMUR ENDOFIT GENUS *FUSARIUM* YANG DIUJI DENGAN METODE DIFUSI

Teknik difusi merupakan teknik pengujian aktivitas antibakteri yang bergantung pada penyebaran senyawa antibakteri dalam media, yang berbentuk cairan ataupun padatan, yang bakteri ujinya telah ditanam dan diinkubasi. Metode ini umumnya diterapkan secara luas sebagai metode pengujian aktivitas antibakteri. Pada kajian ini, dilaporkan beberapa spesies jamur endofit dari genus *Fusarium* dan metabolit sekundernya yang memiliki aktivitas antibakteri dengan metode pengujian menggunakan metode difusi. Diameter hambat jamur endofit dari 6 spesies *Fusarium* yang teridentifikasi beserta asal isolasi tanamannya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas Antibakteri Ekstrak dan Metabolit Sekunder Jamur Endofit *Fusarium* dengan Metode Difusi

Tanaman inang, bagian tanaman	Spesies jamur endofit	Ekstrak Sampel yang diuji	Metabolit sekunder	Golongan	Strain bakteri	Zona hambat (mm)	Referensi
Akar	<i>Fusarium solani</i>	Ekstrak Etil Asetat	Aza-anthraquinone	Antrakuinon	<i>B. megaterium</i>	17	[14]
					<i>S. aureus</i>	11	
					<i>P. aeruginosa</i>	10	
					<i>E. coli</i>	12	
Daun	<i>Fusarium chlamydosporium</i>	Ekstrak Etil Asetat	Fusarithioamide B	Alkaloid	<i>S. marscescens</i>	4,5	[15]
					<i>P. aeruginosa</i>	7,2	
					<i>S. aureus</i>	17,4	
					<i>B. cereus</i>	23	
Akar dan buah	<i>Fusarium oxysporum</i>	Ekstrak Etil Asetat	Ginsenoside	Saponin	<i>E. coli</i>	23,1	[4]
					<i>P. aeruginosa</i>	15,7	
					<i>S. aureus</i>	26,2	
					<i>B. subtilis</i>	27,8	
Akar	<i>Fusarium proliferatum</i>	Ekstrak Kasar Etil Asetat			<i>S. aureus</i>	17,3	[16]
					<i>S. boydii</i>	23	
					<i>S. typhi</i>	22,3	
					<i>E. coli</i>	11,7	
Daun	<i>Fusarium sp. JY2</i>	Ekstrak Metanol			<i>S. aureus</i>	26,4	[17]
					<i>B. anthracis</i>	13,5	
					<i>E. coli</i>	31,6	
					<i>P. aeruginosa</i>	35,2	
Akar	<i>Fusarium sp.</i>	Ekstrak Etil Asetat			<i>B. proteus</i>	15,1	[18]
					MRSA	25	

Rimpang

Keterangan: *B. Anthracis* = *Bacillus anthracis*; *B. cereus* = *Bacillus cereus*; *B. subtilis* = *Bacillus subtilis*; *B. megaterium* = *Bacillus megaterium*; *B. proteus* = *Bacillus proteus*; *E. coli* = *Escherichia coli*; *E. faecalis* = *Enterococcus faecalis*; MRSA = *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*; *P. aeruginosa* = *Pseudomonas aeruginosa*; *S. aureus* = *Staphylococcus aureus*; *S. boydii* = *Shigella boydii*; *S. marscescens* = *Serratia marcescens*; *S. typhi* = *Salmonella typhi*.

Uji antibakteri jamur endofit *Fusarium* dengan metode difusi dilakukan melalui pengukuran diameter zona bening yang terbentuk, atau disebut dengan zona hambat. Diameter zona hambat yang semakin besar menunjukkan aktivitas antibakteri yang semakin kuat. Diameter zona hambat yang diperoleh bervariasi tergantung tanaman inang (*host*) dan spesies jamur endofit yang diisolasi. Aktivitas antibakteri dikategorikan lemah apabila diameter zona

hambatnya < 5 mm; tergolong sedang apabila zona hambatnya 6-10 mm; tergolong kuat apabila zona hambatnya 11-20 mm; dan tergolong sangat kuat apabila zona hambatnya \geq 21 mm [6].

Hasil studi literatur memberikan hasil bahwa terdapat 6 spesies *Fusarium* yang dilaporkan menunjukkan aktivitas antibakteri yang diuji melalui Teknik difusi. *Fusarium solani* yang diisolasi dari akar *Cassia alata* dilaporkan menghasilkan senyawa aza-anthraquinone yang menunjukkan penghambatan yang kuat terhadap pertumbuhan *B. megaterium*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, dan *E. coli* dengan diameter zona hambat masing-masing sebesar 17, 11, 10, dan 12 mm [14]. Dari *Fusarium chlamydosporium* yang diisolasi dari daun *Anvillea garcinia*, berhasil diisolasi senyawa fusarithioamide B dengan diameter zona hambat yang terbesar sebesar 25,1 mm terhadap *E. coli* [15]. Ekstrak etil asetat hasil fermentasi *Fusarium oxysporum* dari akar dan buah *Panax notoginseng* dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri dengan diameter zona hambat terbesar sebesar 27,8 mm terhadap *B. subtilis* [4]. *Fusarium* lainnya juga menunjukkan aktivitas antibakteri yang potensial, yaitu *Fusarium proliferatum* dari akar *Cissus quadrangularis*. Ekstrak kasar etil asetat dari jamur ini menunjukkan penghambatan pertumbuhan terkuat terhadap *S. typhi* dengan diameter zona hambat sebesar 22,3 mm [16]. Aktivitas antibakteri yang kuat juga dilaporkan pada pengujian ekstrak metanol hasil fermentasi jamur *Fusarium* sp. JY2 dari daun *Lonicera japonica* yang menunjukkan zona hambat terhadap *E. coli* dan *P. aeruginosa* dengan diameter 31,6 dan 35,2 mm [17]. Sementara, ekstrak etil asetat dari *Fusarium* sp. yang diisolasi dari rimpang *Zingiber officinale* menunjukkan penghambatan terhadap MRSA dengan diameter zona hambat sebesar 25 mm [18].

B. AKTIVITAS ANTIBAKTERI YANG DIHASILKAN OLEH JAMUR ENDOFIT GENUS *FUSARIUM* YANG DIUJI DENGAN METODE DILUSI

Selain metode difusi, pengujian aktivitas antibakteri juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode mikrodilusi. Metode ini dilakukan menggunakan pelat mikrodilusi (*microwell plate*) yang berisi 96 sumur berbentuk bulat (*round bottom*). Metode mikrodilusi digunakan untuk menentukan konsentrasi terkecil sampel antimikroba uji dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme 18-24 jam setelah masa inkubasi [21]. Konsentrasi minimum senyawa uji dalam menghambat pertumbuhan bakteri ditetapkan sebagai Konsentrasi Hambat Minimum (KHM). Penetapan nilai KHM penting dilakukan karena penggunaan senyawa antimikroba dalam konsentrasi tinggi dapat menimbulkan efek samping atau efek fisiologis pada tubuh. Nilai KHM digunakan untuk menggolongkan tingkat kekuatan aktivitas antibakteri suatu senyawa. Suatu senyawa digolongkan sebagai memiliki aktivitas yang kuat apabila nilai KHM-nya \leq 500 μ g/mL, aktivitas antibakteri sedang apabila nilai KHM-nya 600-1500 μ g/mL, dan aktivitas lemah apabila nilai KHM-nya \geq 1600 μ g/mL. Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) jamur endofit dari 10 spesies jamur endofit dari genus *Fusarium* yang teridentifikasi beserta tanaman inangnya ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ekstrak dan Metabolit Sekunder dari Jamur Endofit *Fusarium* yang Memiliki Aktivitas Antibakteri pada Pengujian dengan Metode Mikrodilusi

Tanaman inang, bagian tanaman	Spesies Jamur Endofit	Ekstrak sampel yang diuji	Senyawa Sekunder	Golongan	Strain Bakteri	KHM (μ g/mL)	Referensi
<i>Nicotiana tabacum</i> Daun	<i>Fusarium sambucinum</i>	Ekstrak Etil Asetat	Amoenamide C	Alkaloid	<i>E. coli</i>	2	[35]
					<i>P. aeruginosa</i>	1	
<i>Sophora tonkinensis</i> Daun	<i>Fusarium equiseti</i>	Ekstrak Etil Asetat	Averythrin	Antrakuinon	<i>E. coli</i>	3,125	[51]
					<i>B. subtilis</i>	6,25	
					<i>B. megaterium</i>	6,25	
					<i>S. castellani</i>	6,25	
<i>Anvillea garcinii</i> Daun	<i>Fusarium chlamydosporium</i>	Ekstrak Etil Asetat	Fusarithioamide A	Alkaloid	<i>B. cereus</i>	3,1	[33]
					<i>S. aureus</i>	4,4	

					<i>E. coli</i>	6,9	
<i>Suaeda glauca</i>	<i>Fusarium chlamydosporum</i>	Ekstrak Etil Asetat	Chlamydo sporin	Alkaloid	<i>S. enterica</i>	64	[52]
Akar							
<i>Edgeworthia chrysantha</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Ekstrak Etil Asetat	Beauvericin	Peptida	<i>S. aureus</i>	3,91	[48]
<i>Rhododendron tomentosum</i>	<i>Fusarium tricinctum</i>	Fraksi Etil Asetat	Trtesin	Peptida	<i>S. carnosus</i>	64	[32]
Daun							
<i>Curcuma alba</i>	<i>Fusarium cf. solani</i>	Ekstrak Etil Asetat			<i>E. coli</i>	80	
					<i>S. aureus</i>	160	[47]
Rimpang							
<i>Opuntia dillenii</i>	<i>Fusarium sp.</i>	Ekstrak Etil Asetat	Equisetin	Flavonoid	<i>B. subtilis</i>	8	
					<i>S. aureus</i>	16	[31]
Bunga							
<i>Cinnamomum mercadoi</i>	<i>Fusarium sp.</i>	Ekstrak Etil Asetat			<i>E. coli</i>	2100	
					<i>B. cereus</i>	3800	
					<i>S. aureus</i>	4200	[46]
					<i>E. aerogenes</i>	4200	

Keterangan: *B. cereus* = *Bacillus cereus*; *B. subtilis* = *Bacillus subtilis*; *B. megaterium* = *Bacillus megaterium*; *E. aerogenes* = *Enterobacter aerogenes*; *E. coli* = *Escherichia coli*; MRSA = *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*; *P. aeruginosa* = *Pseudomonas aeruginosa*; *S. aureus* = *Staphylococcus aureus*; *S. carnosus* = *Staphylococcus carnosus*; *S. castellani* = *Shigella castellani*; *S. enterica* = *Salmonella enterica*.

Berdasarkan kajian uji antibakteri senyawa atau ekstrak yang dihasilkan oleh *Fusarium* menggunakan metode mikrodilusi, didapatkan 9 spesies *Fusarium* yang diuji dengan metode mikrodilusi. Amoenamide C, senyawa alkaloid yang dihasilkan oleh *Fusarium sambucinum* dari daun *Nicotiana tabacum*, menunjukkan aktivitas antibakteri yang menjanjikan terhadap *P. aeruginosa* dan *E. coli* dengan nilai KHM masing-masing sebesar 1 dan 2 µg/mL [35]. Senyawa averythrin yang diperoleh dari ekstrak etil asetat hasil fermentasi *Fusarium equiseti* yang diisolasi dari daun *Sophora tonkinensis* memiliki aktivitas antibakteri yang kuat terhadap berbagai strain bakteri dengan nilai KHM berkisar dari 3,125 hingga 12,5 µg/mL [51]. *Fusarium chlamydosporium* yang berasosiasi dengan daun *Anvillea garcinia* dilaporkan menghasilkan fusarithioamide A dengan nilai KHM yang paling baik sebesar 3,1 µg/mL terhadap *B. cereus* [33]. *F. chlamydosporium* juga pernah diisolasi dari akar *Suaeda glauca*. Dari ekstrak etil asetat hasil fermentasi jamur ini berhasil diisolasi chlamydosporin dengan KHM sebesar 64 µg/mL terhadap *S. enterica* [52]. Senyawa antibakteri lainnya juga pernah dilaporkan dari *Fusarium oxysporum*. Pengujian antibakteri terhadap *beauvericin*, senyawa peptida yang dihasilkan *F. oxysporum* dari *Edgeworthia chrysantha*, menunjukkan bahwa senyawa ini memiliki KHM sebesar 3,91 µg/mL terhadap *S. aureus* [48]. Senyawa trtesin yang berhasil diisolasi dari fraksi etil asetat *Fusarium tricinctum* yang hidup di daun *Rhododendron tomentosum* menunjukkan aktivitas antibakteri sebesar 64 µg/mL terhadap *S. carnosus* [32]. Ekstrak etil asetat hasil fermentasi *Fusarium cf. solani* yang diisolasi dari rimpang *Curcuma alba* menunjukkan penghambatan pertumbuhan dengan nilai KHM sebesar 80 µg/mL terhadap *E. coli* [47]. Senyawa equisetin yang dihasilkan *Fusarium sp.* yang berasosiasi dengan bunga *Opuntia dillenii* menunjukkan nilai KHM sebesar 8 µg/mL terhadap *B. subtilis* [31]. Dari ekstrak etil asetat *Fusarium sp.* lainnya yang diisolasi dari kulit batang *Cinnamomum mercadoi* menunjukkan aktivitas antibakteri dengan nilai KHM sebesar 2100 µg/mL terhadap *E. coli* [46].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data publikasi yang ditelaah, 14 spesies jamur endofit dari genus *Fusarium* dilaporkan mampu menghasilkan metabolit dengan aktivitas antibakteri. Ekstrak dan metabolit sekunder dari jamur endofit *Fusarium* dilaporkan dalam berbagai studi menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap bakteri *E. coli*, *B. subtilis*, *S. carnosus*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* dan MRSA. Senyawa metabolit sekunder yang dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri dalam kajian ini diantaranya fusarithioamide A dan B, aza-antrokuinon, ginsenoside, amoenamide C, chlamydosporin, beauvericin, trtesin, dan equisetin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Republik Indonesia atas pendanaan Penelitian Fundamental dengan no kontrak: B/603-18/UN14.4.A/PT.01.05/2023. Penulis berterima kasih atas fasilitasi dan instrumen penelitian yang disediakan Universitas Udayana melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Udayana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thiruchelvi P., Thaigarajan P., A. G., Azlinah M. S., Jiun Y. C., Manoj L., Chai F. C., Kumar S. (2022). Antimicrobial resistance: Prevalence, economic burden, mechanisms of resistance and strategies to overcome. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2021.106103>
- [2] Genilloud, O. (2019). Natural products discovery and potential for new antibiotics. *Current Opinion in Microbiology*, 51, 81–87. doi:10.1016/j.mib.2019.10.012
- [3] Anamika, V., Nowsheen, S., Hanuman, S. J. (2022). Fungal Endophytes to Combat Biotic and Abiotic Stresses for Climate-Smart and Sustainable Agriculture. doi: 10.3389/fpls.2022.953836
- [4] Jin, Z., Gao, L., Zhang, L., Liu, T., Yu, F., Zhang, Z., Wang, B. (2017). Antimicrobial activity of saponins produced by two novel endophytic fungi from *Panax notoginseng*. *Natural Product Research*, 31(22), 2700–2703. doi:10.1080/14786419.2017.1292265
- [5] Ariantari, N. P., Frank, M., Gao, Y., Stuhldreier, F., Kiffe-Delf, A.-L., Hartmann, R., Proksch, P. (2021). Fusaristatins D–F and (7S,8R)-(–)-chlamydosporidiol from *Fusarium* sp. BZCB-CA, an endophyte of *Bothriospermum chinense*. *Tetrahedron*, 85, 132065. doi:10.1016/j.tet.2021.132065
- [6] Li, J., Xie, S., Ahmed, S., Wang, F., Gu, Y., Zhang, C., Chai, X., Wu, Y., Cai, J., and Cheng, G. (2017). Antimicrobial Activity and Resistance: Influencing Factors, *Frontiers in Pharmacology*, vol. 8, no. 6. doi:<https://doi.org/10.3389/fphr.2017.00364>.
- [7] Zuhura N Mwanga, Esther F Mvungi., Donatha D Tibuhwa. (2019). Antimicrobial Activities of Endophytic Fungi Secondary Metabolites from *Moringa oleifera* (Lam). *Tanz. J. Sci.* Vol 45(3), 2019
- [8] Huan W., Ziyue L., Fangfang D., Yan C., Kaidi Q., Qin X., Huiting L., Jun Z., and Haibo Tan. (2023). Isolation, Identification, and Antibacterial Evaluation of Endophytic Fungi from Gannan navel orange. doi: 10.3389/fmicb.2023.1172629
- [9] Dame, Z. T., Silima, B., Gryzenhout, M., & van Ree, T. (2015). Bioactive compounds from the endophytic fungus *Fusarium proliferatum*. *Natural Product Research*, 30(11), 1301–1304. doi:10.1080/14786419.2015.1053089
- [10] Praptiwi, P., Palupi, K. D., Fathoni, A., Wulansari, D., Ilyas, M., and Agusta, A. (2016). Evaluation of Antibacterial and Antioxidant Activity of Extracts of Endophytic Fungi Isolated from Indonesian Zingiberaceous Plants, *Nusantara Bioscience*, vol. 8, no. 2, pp. 306–311, doi : <https://doi.org/10.1357/nusbiosci/n080228>
- [11] Genilloud, O. (2019). Natural products discovery and potential for new antibiotics. *Current Opinion in Microbiology*, 51, 81–87. doi:10.1016/j.mib.2019.10.012
- [12] Grabka, R., D’entremont, T.W., Adams, S.J., Walker, A.K., Tanney, J.B., Abbasi, P.A., et al. (2022). Fungal Endophytes and Their Role in Agricultural Plant Protection against Pests and Pathogens, *Plants*, 11:1–29.
- [13] Zaman, S., Al-Joufi, F. A., Zafar, M., and Zahoor, M. (2022). Phytochemical, Antimicrobial and Cytotoxic Activities of *Gaultheria trichophylla* Royle, *Applied Sciences*, vol. 12, no. 14, pp. 6921, doi: 10.3390/app12146921.
- [14] Khan, N., Afroz, F., Begum, M. N., Roy Rony, S., Sharmin, S., Moni, F., Sohrab, M. H. (2018). Endophytic *Fusarium solani*: A rich source of cytotoxic and antimicrobial naphthaquinone and aza-anthraquinone derivatives. *Toxicology Reports*, 5, 970–976. doi:10.1016/j.toxrep.2018.08.016
- [15] Ibrahim, S. R. M., Mohamed, G. A., Al Haidari, R. A., Zayed, M. F., El-Kholy, A. A., Elkhatay, E. S., Ross, S. A. (2018). Fusarithioamide B, a new benzamide derivative from the endophytic fungus *Fusarium chlamydosporium* with potent cytotoxic and antimicrobial activities. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 26(3), 786–790. doi:10.1016/j.bmc.2017.12.049
- [16] Singh, A., Kumar, J., Sharma, V. K., Singh, D. K., Kumari, P., Nishad, J. H., Kharwar, R. N. (2021). Phytochemical analysis and antimicrobial activity of an endophytic *Fusarium proliferatum* (ACQR8), isolated from a folk medicinal plant *Cissus quadrangularis* L. *South African Journal of Botany*, 140, 87–94. doi:10.1016/j.sajb.2021.03.004
- [17] Zhang, Sun., Xu. (2016). Antimicrobi Activity Of Endophytic Fungus *Fusarium* Sp. Isolated From Medicinal Honeysuckle Plant, 25-30. doi : 10.2298/ABS140401004Z

- [18] Sari, N. K. Y., Kawuri, R., Parwanayoni, N. M. S. (2017). Aktivitas Antibakteri Fungi Endofit dari Rimpang Jahe Gajah (*Zingiber officinale* var. *Roscoe*) terhadap Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*. doi: <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2020.v07.i02.p11>.
- [19] Kyekyeku, J. O., Kusari, S., Adosraku, R. K., Bullach, A., Golz, C., Strohmman, C., Spitteller, M. (2017). Antibacterial secondary metabolites from an endophytic fungus, *Fusarium solani* JK10. *Fitoterapia*, 119, 108–114. doi:10.1016/j.fitote.2017.04.007
- [20] Deshmukh, R., Mathew, A., Purohit, H. J. (2014). Characterization of antibacterial activity of bikaverin from *Fusarium* sp. HKF15. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 117(4), 443–448. doi:10.1016/j.jbiosc.2013.09.017
- [21] Liu, P., Zhang, D., Shi, R., Yang, Z., Zhao, F., Tian, Y. (2019). Antimicrobial potential of endophytic fungi from *Astragalus chinensis*. *3 Biotech*, 9(11). doi:10.1007/s13205-019-1948-5
- [22] Zhang, P., Yuan, X.-L., Du, Y., Zhang, H.-B., Shen, G.-M., Zhang, Z.-F., xu, kuo. (2019). Angularly Prenylated Indole Alkaloids with Antimicrobial and Insecticidal Activities from an Endophytic Fungus *Fusarium sambucinum* TE-6L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. doi:10.1021/acs.jafc.9b05827
- [23] Toghueo, R. M. K. (2019). Bioprospecting endophytic fungi from *Fusarium* genus as sources of bioactive metabolites. *Mycology*, 11(1), 1–21. doi:10.1080/21501203.2019.1645053
- [25] Grijseels, S., Nielsen, J. C., Nielsen, J., Larsen, T. O., Frisvad, J. C., Nielsen, K. F., Workman, M. (2017). Physiological characterization of secondary metabolite producing *Penicillium* cell factories. *Fungal Biology and Biotechnology*, 4(1). doi:10.1186/s40694-017-0036-z
- [26] Tejesvi, M. V., Segura, D. R., Schnorr, K. M., Sandvang, D., Mattila, S., Olsen, P. B., Pirttilä, A. M. (2013). An antimicrobial peptide from endophytic *Fusarium tricinctum* of *Rhododendron tomentosum* Harmaja. *Fungal Diversity*, 60(1), 153–159. doi:10.1007/s13225-013-0227-8.
- [27] Othman, L., Sleiman, A., Abdel-Massih, R. M. (2019). Antimicrobial Activity of Polyphenols and Alkaloids in Middle Eastern Plants. *Frontiers in Microbiology*, 10. doi:10.3389/fmicb.2019.00911
- [28] Anisha, C., Radhakrishnan, E. K. (2017). Metabolite analysis of endophytic fungi from cultivars of *Zingiber officinale* Rosc. identifies myriad of bioactive compounds including tyrosol. *3 Biotech*, 7(2). doi:10.1007/s13205-017-0768-8
- [29] Ratnaweera, P. B., de Silva, E. D., Williams, D. E., Andersen, R. J. (2015). Antimicrobial activities of endophytic fungi obtained from the arid zone invasive plant *Opuntia dillenii* and the isolation of equisetin, from endophytic *Fusarium* sp. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15(1). doi:10.1186/s12906-015-0722-4
- [30] Liu, X.-B., Zheng, N., Liang, L.-Q., Zhao, D.-M., Qin, Y.-Y., Li, J., Yang, R.-Y. (2019). Secondary Metabolites from the Endophytic Fungus *Fusarium equiseti* and Their Antibacterial Activities. *Chemistry of Natural Compounds*. doi:10.1007/s10600-019-02915-0
- [31] Ratnaweera, P. B., de Silva, E. D., Williams, D. E., Andersen, R. J. (2015). Antimicrobial activities of endophytic fungi obtained from the arid zone invasive plant *Opuntia dillenii* and the isolation of equisetin, from endophytic *Fusarium* sp. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15(1). doi:10.1186/s12906-015-0722-4
- [32] Tejesvi, M. V., Segura, D. R., Schnorr, K. M., Sandvang, D., Mattila, S., Olsen, P. B., Pirttilä, A. M. (2013). An antimicrobial peptide from endophytic *Fusarium tricinctum* of *Rhododendron tomentosum* Harmaja. *Fungal Diversity*, 60(1), 153–159. doi:10.1007/s13225-013-0227-8
- [33] Ibrahim, S. R. M., Elkhayat, E. S., Mohamed, G. A. A., Fat'hi, S. M., Ross, S. A. (2016). Fusarithioamide A, a new antimicrobial and cytotoxic benzamide derivative from the endophytic fungus *Fusarium chlamydosporium*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 479(2), 211–216. doi:10.1016/j.bbrc.2016.09.041
- [34] Breijyeh, Z., Jubeh, B., and Karaman, R. (2020). Resistance of Gram-Negative Bacteria to Current Antibacterial Agents and Approaches to Resolve It, *Molecules*, vol. 25, no. 6. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25061340>.
- [35] Zhang, P., Yuan, X.-L., Du, Y., Zhang, H.-B., Shen, G.-M., Zhang, Z.-F., xu, kuo. (2019). Angularly Prenylated Indole Alkaloids with Antimicrobial and Insecticidal Activities from an Endophytic Fungus *Fusarium sambucinum* TE-6L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. doi:10.1021/acs.jafc.9b05827
- [36] Abdul, J.A., Posangi, J., Wowor, P.M., dan Bara, R.A. (2020), Uji Efek Daya Hambat Jamur Endofit Rimpang Jahe (*Zingiber officinale* Rosc) terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, *Jurnal Biomedik:JBM*, 12:88.
- [37] Akanbi, O.E., Njom, H.A., Fri, J., Otigbu, A.C., and Clarke, A.M. (2017), Antimicrobial Susceptibility of *Staphylococcus aureus* Isolated from Recreational Waters and Beach Sand in Eastern Cape Province of South Africa, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14:1–15.
- [38] Ariantari, N.P., Frank, M., Gao, Y., Stuhldreier, F., Kiffe-Delf, A.L., Hartmann, R. (2021). Fusaristatins D–F and (7S,8R)-(-)-chlamydosporiol from *Fusarium* sp. BZCB-CA, an Endophyte of *Bothriospermum chinense*, *Tetrahedron*, 85.
- [39] Bills, G.F. and Gloer, J.B. (2017). Biologically Active Secondary Metabolites from the Fungi, *The Fungal Kingdom*, 1087–1119.
- [40] Caesar, L.K. and Cech, N.B. (2019). Synergy and Antagonism in Natural Product Extracts: When 1 + 1 Does Not Equal 2, *Natural Product Reports*, 36:869–888.
- [41] Cao, D., Sun, P., Bhowmick, S., Wei, Y., Guo, B., Wei, Y. (2021). Secondary Metabolites of Endophytic Fungi Isolated from *Huperzia serrata*, *Fitoterapia*, 155:104970.
- [42] Lacerda, Í.C. dos S., Polonio, J.C., and Golias, H.C. (2022). Endophytic Fungi as a Source of Antiviral Compounds – A Review, *Chemistry and Biodiversity*, 19.
- [43] Li, M., Yu, R., Bai, X., Wang, H., and Zhang, H. (2020). *Fusarium*: A Treasure Trove of Bioactive Secondary Metabolites, *Natural Product Reports*, 37:1568–1588.

- [44] Liu, D., Li, X.M., Li, C.S., and Wang, B.G. (2013). Sesterterpenes and 2H-pyran-2-ones (=α-pyrone) from the Mangrove-Derived Endophytic Fungus *Fusarium proliferatum* MA-84, *Helvetica Chimica Acta*, 96:437–444.
- [45] Wulansari, E.D., Lestari, D., dan Khoirunissa, M. (2020). Kandungan Terpenoid dalam Daun Ara (*Ficus carica* L.) sebagai Agen Antibakteri terhadap Bakteri Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*, *Pharmacon*, 9:219-225.
- [46] Jia P. M., Alyssa S. Collanto, Rolly G. Fuentes. (2017). Antibacterial Activity of Endophytic Fungi Isolated from the Bark of *Cinnamomum mercaoi*. doi : 10.5530/pj.2017.3.69.
- [47] Praptiwi, P., Palupi, K. D., Fathoni, A., Wulansari, D., Ilyas, M., and Agusta, A. (2016). Evaluation of Antibacterial and Antioxidant Activity of Extracts of Endophytic Fungi Isolated from Indonesian Zingiberaceous Plants, *Nusantara Bioscience*, vol. 8, no. 2, pp. 306–311. doi: <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080228>.
- [48] Zhang, H., Ruan, C., Bai, X., Zhang, M., Zhu, S., Jiang, Y. (2016). Isolation and Identification of the Antimicrobial Agent Beauvericin from the Endophytic *Fusarium oxysporum* 5-19 with NMR and ESI-MS/MS. *BioMed Research International*, 2016, 1–4. doi:10.1155/2016/1084670
- [49] Musavi, S. F., Balakrishnan, R. M. (2013). Biodiversity, Antimicrobial Potential, and Phylogenetic Placement of an Endophytic *Fusarium oxysporum* NFX 06 Isolated from *Nothapodytes foetida*. *Journal of Mycology*, 1–10. doi:10.1155/2013/172056
- [50] Zhang, P., Yuan, X.-L., Du, Y., Zhang, H.-B., Shen, G.-M., Zhang, Z.-F., Xu, Kuo. (2019). Angularly Prenylated Indole Alkaloids with Antimicrobial and Insecticidal Activities from an Endophytic Fungus *Fusarium sambucinum* TE-6L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. doi:10.1021/acs.jafc.9b05827
- [51] Liu, X.-B., Zheng, N., Liang, L.-Q., Zhao, D.-M., Qin, Y.-Y., Li, J., Yang, R.-Y. (2019). Secondary Metabolites from the Endophytic Fungus *Fusarium equiseti* and Their Antibacterial Activities. *Chemistry of Natural Compounds*. doi:10.1007/s10600-019-02915-0
- [52] Wang, Z.-F., Zhang, W., Xiao, L., Zhou, Y.-M., & Du, F.-Y. (2018). Characterization and bioactive potentials of secondary metabolites from *Fusarium chlamydosporum*. *Natural Product Research*, 1–4. doi:10.1080/14786419.2018.1508142