



Senyawa Bioaktif *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis* Serta Potensinya Sebagai Antibakteri

Siti Sulaiha, Dewi Mustikaningtyas, Talitha Widiatningrum, Pramesti Dewi✉

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diterima: 1 November 2022
Disetujui: 15 November 2022
Dipublikasikan: 30 November 2022

Keywords: Antibacterial; Bioactive compounds; *Trichoderma* Antibakteri; Senyawa bioaktif; *Trichoderma*

Abstract

Trichoderma erinaceum and *Trichoderma koningiopsis* are lignocellulolytic mold isolated from the Universitas Negeri Semarang which are thought to produce bioactive compounds and have potential as antibacterials. The purpose of this study was to determine the types of bioactive compounds produced by *T. erinaceum* and *T. koningiopsis* and to test their antibacterial activity. The crude extracts of *Trichoderma erinaceum* (TE) and *Trichoderma koningiopsis* (TK) were tested for their bioactive compounds by chemical test tube including alkaloid, phenolic, flavonoid, steroid / terpenoid, tannin, and saponin tests. Furthermore, antibacterial tests were carried out on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* using the paper disc diffusion method. Chemical tube test showed that TE and TK produced bioactive compounds in the form of flavonoids, phenolics, terpenoids, and tannins. The results of the antibacterial activity test showed that TE inhibited the growth of *E. coli* more strongly than *B. subtilis* with diameter inhibition zone 5.3 mm and 4.3 mm, respectively, while TK inhibited the growth of *B. subtilis* more strongly than *E. coli* with diameter inhibition zone 5.3 mm and 3.4 mm, respectively. This study shows that *T. erinaceum* and *T. koningiopsis* produce bioactive compounds that have potential as antibacterials with weak-moderate inhibitory responses.

Abstrak

Trichoderma erinaceum dan *Trichoderma koningiopsis* merupakan isolat kapang lignoselulolitik yang diisolasi dari lingkungan Universitas Negeri Semarang yang diduga dapat menghasilkan senyawa bioaktif dan berpotensi sebagai antibakteri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* serta uji aktivitas antibakterinya. Ekstrak kasar *Trichoderma erinaceum* (TE) dan *Trichoderma koningiopsis* (TK) diuji kandungan senyawa bioaktifnya dengan uji tabung kimiawi meliputi uji alkaloid, fenolik, flavonoid, steroid/terpenoid, tanin, dan saponin. Selanjutnya, uji antibakteri dilakukan terhadap *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* dengan metode difusi kertas cakram. Uji tabung kimiawi menunjukkan bahwa TE dan TK menghasilkan senyawa bioaktif berupa flavonoid, fenolik, terpenoid, dan tanin. Hasil uji aktivitas antibakteri menunjukkan TE lebih kuat menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dibandingkan *B. subtilis* dengan diameter zona hambat 5,3 mm dan 4,3 mm secara berturut-turut, sedangkan TK lebih kuat menghambat pertumbuhan bakteri *B. subtilis* dibandingkan *E. coli* dengan diameter zona hambat 5,3 mm dan 3,4 mm secara berturut-turut. Penelitian ini menunjukkan bahwa *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* menghasilkan senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai antibakteri dengan respon hambatan lemah-sedang

PENDAHULUAN

Universitas Negeri Semarang merupakan universitas di Indonesia yang mengembangkan nilai karakter berwawasan konservasi. Sebagai kampus berwawasan konservasi tentu saja Universitas Negeri Semarang memiliki area yang sangat luas dan banyak vegetasi yang terdapat di dalamnya. Dari setiap jenis vegetasi yang tumbuh, akan dihasilkan guguran daun yang menumpuk setiap hari yang dapat mengotori lingkungan. Guguran daun tersebut bisa dibersihkan oleh petugas dan sisa-sisa daun yang tidak ikut tersapu akan tetap tertinggal di tanah dan hancur dengan sendirinya karena adanya bantuan mikroorganisme.

Daun merupakan salah satu dari bagian tumbuhan yang terdiri atas komponen lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan biomassa pembentuk dinding tumbuhan yang terdiri atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Dalam mendegradasi sampah lignoselulosa secara cepat dan efisien diperlukan peran mikroba spesifik yang dapat bekerja secara spesifik terhadap substrat tertentu, diketahui bahwa kapang lignoselulolitik mampu menguraikan komponen lignoselulosa.

Kapang lignoselulolitik merupakan jenis kapang yang aktif dalam penguraian bahan alam khususnya pada jenis lignoselulosa. Anindyawati (2010) menjelaskan bahwa terdapat beberapa jenis mikroorganisme seperti *Penicillium*, *Aspergillus*, *Neurospora*, *Trichoderma*, *Fusarium*, dan sebagainya memiliki kemampuan yang tinggi dalam mendegradasi komponen lignoselulosa dikarenakan memiliki aktivitas selulolitik dan hemiselulolitik. Selain memiliki kemampuan dalam mendegradasi komponen lignoselulosa, beberapa jenis mikroorganisme seperti *Penicillium sp* mengandung senyawa bioaktif berupa metabolit sekunder golongan senyawa terpenoid (Nurulita *et al.*, 2020). *Penicillium sp* ini sering dimanfaatkan dalam pembuatan antibiotik dikarenakan memiliki sifat anti mikroba yang dapat mengganggu pertumbuhan mikroorganisme patogen.

Trichoderma sebagai salah satu jenis kapang lignoselulolitik dapat menghasilkan senyawa bioaktif. Adriansyah *et al.*, (2015) menjelaskan bahwa *Trichoderma sp* dapat menghasilkan senyawa bioaktif berupa viridin dan trikomidin yang bersifat antibiotik. *Trichoderma harzianum* yang berhasil diisolasi dari akar tomat oleh Mona *et al.*, (2017) menghasilkan senyawa bioaktif berupa fenol dan flavonoid yang memiliki manfaat sebagai antijamur. Zheng *et al.*, (2017) menggunakan *Trichoderma reesei* berhasil mengisolasi senyawa fenolik dan tanin. Sibero *et al.*, (2019) menggunakan jenis *Trichoderma asperellum* MT02 menggunakan pelarut metanol berhasil mengisolasi senyawa fenol hidrokuinon dan flavonoid sedangkan dengan pelarut etil asetat berhasil mengisolasi senyawa alkaloid, fenol hidrokuinon, flavonoid dan saponin.

Trichoderma erinaceum dan *Trichoderma koningiopsis* merupakan isolat kapang lignoselulolitik yang berhasil diisolasi dari wilayah Universitas Negeri Semarang. *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis* diduga dapat menghasilkan senyawa bioaktif yang dapat dijadikan sebagai antibakteri. Antibakteri adalah senyawa yang memiliki sifat dapat mengendalikan atau menghambat pertumbuhan bakteri yang bersifat merugikan sehingga infeksi dari bakteri patogen dapat dicegah atau diobati. Beberapa jenis bakteri patogen seperti *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* sering kali mengkontaminasi

makanan yang akan mengakibatkan infeksi sehingga dapat menjadi permasalahan serius jika tidak ditangani dengan tepat.

Hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan terhadap jenis *Trichoderma* menunjukkan adanya berbagai kandungan senyawa bioaktif. Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk menggali informasi lebih lanjut tentang senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis* serta uji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*. Diharapkan dengan penelitian ini dapat diperoleh informasi baru yang berguna di masa depan tentang senyawa bioaktif dari *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis* serta aktivitas antibakterinya.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan pada bulan Februari - April 2020 di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Negeri Semarang. Variabel bebas yaitu *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis*. Variabel terikat berupa jenis senyawa bioaktif dan diameter zona hambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *B. subtilis*. Variabel kontrol meliputi jenis pereaksi deteksi senyawa bioaktif, media perlakuan, dan kondisi lingkungan *Trichoderma* serta bakteri uji.

Peremajaan *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis*

Proses peremajaan *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* dapat dilakukan dengan cara membuat kultur stok (*culture stock*) dan kultur kerja (*working culture*) untuk setiap koloni tunggal biakan *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* yang akan diinokulasi masing-masing ke dalam 4 cawan petri yang telah berisi medium PDA (*Potato Dextrose Agar*). Metode yang dapat digunakan dalam inokulasi biakan *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* yaitu metode goresan (*streak methode*). Hasil inokulasi pada cawan petri yang telah berisi biakan *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* diinkubasi pada suhu ruang (25 °C) selama 4-7 hari hingga terjadi sporulasi. Satu cawan petri yang paling bagus pertumbuhannya dapat digunakan sebagai kultur kerja, dan cawan petri lainnya disimpan dalam lemari pendingin pada suhu 4°C sebagai kultur stok.

Produksi Metabolit Sekunder *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis*

Proses produksi metabolit sekunder *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* dilakukan dengan cara fermentasi media cair PDY (Fuadati, 2015). Proses fermentasi dilakukan dengan modifikasi metode dari Elviasari *et al.*, (2016), koloni isolat *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* yang telah bersporulasi pada media PDA diambil sebanyak 10 potongan menggunakan *cork borer* berukuran 6 mm dan diinokulasikan ke dalam media cair PDY sebanyak 50 mL dalam labu Erlenmeyer 100 mL dan diinkubasi 3-5 hari. Kemudian diambil 20 mL isolat cair dan dimasukkan ke medium PDY 250 mL dalam labu erlenmeyer 500 mL. Selanjutnya dilakukan fermentasi goyang menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 130 rpm, suhu ruang (25°C) selama 7 hari. Medium cair hasil fermentasi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabung sentrifus ukuran 2 mL dan disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm, suhu 4°C, selama 20 menit.

Supernatan hasil sentrifugasi disaring menggunakan kertas saring Whatman No 1 dan corong vakum. Misellia yang mengendap kemudian diambil dan dikeringkan di oven pada suhu 40°C selama 3 jam dan kemudian direndam dalam metanol selama 2 hari. Misellia *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* selanjutnya

disaring, dan di keringkan di *drybath* sehingga menjadi ekstrak kasar. Ekstrak kasar yang dihasilkan akan digunakan untuk uji ke tahap berikutnya.

Deteksi Kandungan Senyawa Metabolit Sekunder *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis*

Ekstrak kasar yang dihasilkan pada proses fermentasi kemudian diuji untuk mengetahui keberadaan senyawa metabolit sekunder yang memiliki kemampuan sebagai antibakteri. Uji tabung kimiawi merupakan tes kualitatif yang menggunakan berbagai pereaksi yang meliputi uji alkaloid, flavonoid, terpenoid/steroid, fenolik, tanin, alkaloid, dan saponin (Tiwari *et al.*, 2011). Metode uji tabung kimiawi dilakukan menurut Harbone dalam Lestari & Manurung (2018) menggunakan pereaksi Mg-HCl untuk uji flavonoid dengan hasil positif terbentuknya warna merah jambu, H₂SO₄ dan pereaksi LB (Lieberman Burchard) untuk uji steroid/triterpenoid dengan hasil positif terbentuknya warna hijau kebiruan, FeCl₃ 1% untuk uji fenolik dengan hasil positif terbentuknya larutan warna biru, hijau atau hitam, FeCl₃ untuk uji tanin dengan hasil positif terbentuknya warna hijau kebiruan, reagen Mayer untuk uji alkaloid dengan hasil positif terbentuknya endapan putih, dan aquadest untuk uji saponin dengan hasil positif terbentuknya busa stabil selama 5-10 menit.

Uji Aktivitas Antibakteri

Pengujian antibakteri yang dilakukan dari hasil senyawa bioaktif ekstrak kasar *Trichoderma erinaceum* (TE) dan ekstrak kasar *Trichoderma koningiopsis* (TK) terhadap bakteri patogen diantaranya *Eschericia coli* dan *Bacillus subtilis* menggunakan metode difusi kertas cakram. Pada uji aktivitas antibakteri ini digunakan antibiotik yaitu *chloramphenicol* 250 mg yang telah dilarutkan dalam 10mL aquadest steril sebagai kontrol positif (K+), aquadest steril sebagai kontrol negatif (K-), TE dan TK yang telah dilarutkan dengan perbandingan 1:5 dalam aquadest steril.

Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan cara menyiapkan media NA steril dan beberapa perlakuan (K+, K-, TE, dan TK). Media NA steril yang telah disiapkan dituangkan ke dalam cawan petri berukuran 9 cm hingga memadat. NA yang sudah memadat diberi bakteri uji yang berumur 3-5 hari sebanyak 200 µl dan diratakan dengan dryglaski (*spread plate methode*). Kertas cakram steril yang telah direndam di setiap perlakuan selama 1x24 jam diletakkan pada media NA yang telah disiapkan sebelumnya, lalu dilakukan proses inkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

Hasil dari uji antibakteri dapat dilihat dengan cara mengamati daya hambat pertumbuhan mikroorganisme yang ditandai dengan adanya zona hambat berupa wilayah keruh atau wilayah jernih di daerah sekitar kertas cakram (Husen & Yunus, 2018). Zona hambat inilah yang menunjukkan sensitivitas tiap terhadap pertumbuhan bakteri *Eschericia coli* dan *Bacillus subtilis*. Untuk mengetahui hasil zona hambat yang diperoleh dari setiap perlakuan, dilakukan perhitungan sebagai berikut;

$$\text{Zona hambat} = \frac{\emptyset \text{ zona bening vertikal} - \emptyset \text{ paper disc} + (\emptyset \text{ zona bening horizontal} - \emptyset \text{ paper disc})}{2}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian deteksi senyawa bioaktif *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis* disajikan dalam Tabel 1 dan uji aktivitas antibakterinya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Hasil deteksi senyawa bioaktif *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis*

Jenis Senyawa Bioaktif	Jenis <i>Trichoderma</i>	
	<i>T.erinaceum</i>	<i>T. koningiopsis</i>
Alkaloid	-	-
Flavonoid	+	+
Fenolik	++	+
Steroid/ Triterpenoid	+	++
Tanin	+	+
Saponin	-	-

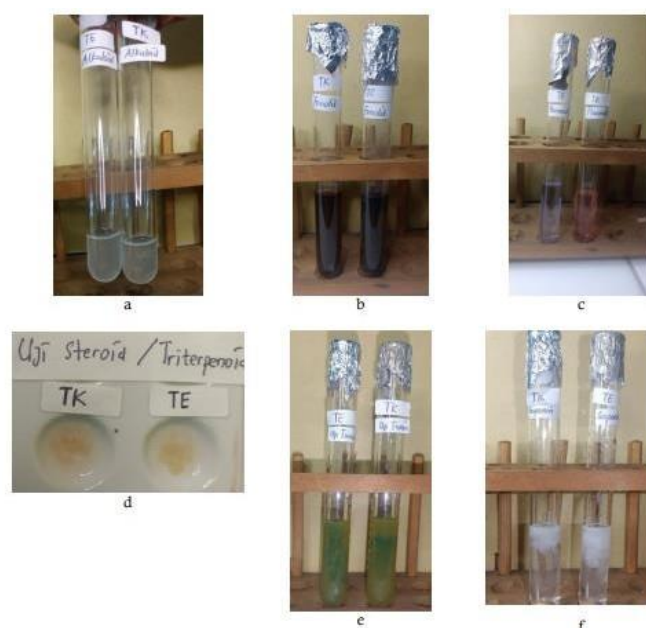
Keterangan: (+ : Terdeteksi senyawa bioaktif dengan intensitas rendah, ++ : Terdeteksi senyawa bioaktif dengan intensitas sedang, - : Tidak terdeteksi senyawa bioaktif)

Pada Tabel 1 terkait uji senyawa bioaktif secara kualitatif dapat dilihat bahwa *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* mendapatkan hasil negatif pada pengujian senyawa alkaloid dan saponin, dan hasil positif pada senyawa fenolik, triterpenoid, dan tanin. Senyawa fenolik dan triterpenoid pada kedua jenis isolat yang digunakan diduga memiliki intensitas yang berbeda dikarenakan adanya perbedaan hasil warna pada tiap pengujian.

Pengujian senyawa alkaloid secara kualitatif mendapatkan hasil negatif dikarenakan tidak adanya endapan putih, namun Chen *et al.*, (2019) menemukan senyawa bioaktif alkaloid diterpen pada *Trichoderma koningiopsis* melalui pengujian menggunakan analisis spektroskopi. Alkaloid diterpene merupakan senyawa turunan dari alkaloid dengan struktur kimia yang hampir mirip dengan terpene. Pengujian senyawa fenolik pada *T. erinaceum* dan *T. koningiopsis* dihasilkan warna yang berbeda, dimana warna larutan pada tabung *T. erinaceum* lebih pekat dibandingkan tabung *T. koningiopsis*. Hal ini diduga adanya perbedaan intensitas senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh kedua jenis isolat. Senyawa fenolik merupakan senyawa yang paling banyak terdapat di alam.

Hasil uji senyawa triterpenoid juga didapatkan hasil warna yang berbeda. Pada isolat *T. koningiopsis* setelah ditambahkan asam asetat anhidrat menghasilkan warna merah muda yang lebih pekat dibandingkan isolat *T. erinaceum*. Intensitas senyawa bioaktif triterpenoid yang dihasilkan oleh *T. koningiopsis* diduga lebih banyak daripada *T. erinaceum*. Hipotesis ini dikuatkan oleh hasil penelitian Chen *et al.*, (2019) yang menyatakan bahwa pada isolat *Trichoderma koningiopsis* ditemukan tiga diterpen baru koninginol A-C dan dua seskuiterpenoid baru asam 11-hidroksi-15-drimeneoat, koninginol D, bersama dengan dua belas senyawa yang diketahui sebelumnya, sedangkan pada *Trichoderma erinaceum* ditemukan 7 senyawa terpenoid dan 1 polyketide. 7 senyawa terpenoid yang ditemukan di antaranya adalah empat senyawa baru yaitu harziandione A, cyclonerodiol A dan B, dan trichodermaerin A (Guo *et al.*, 2020). Koninginol A dan

B merupakan alkaloid diterpene, sedangkan koninginol C diungkapkan sebagai salah satu dari dua contoh harziandion diterpen.



Gambar 1. Deteksi senyawa bioaktif (a) Alkaloid, (b) Fenolik (c) Flavonoid (d) Triterpenoid (e) tanin, (f) Saponin.

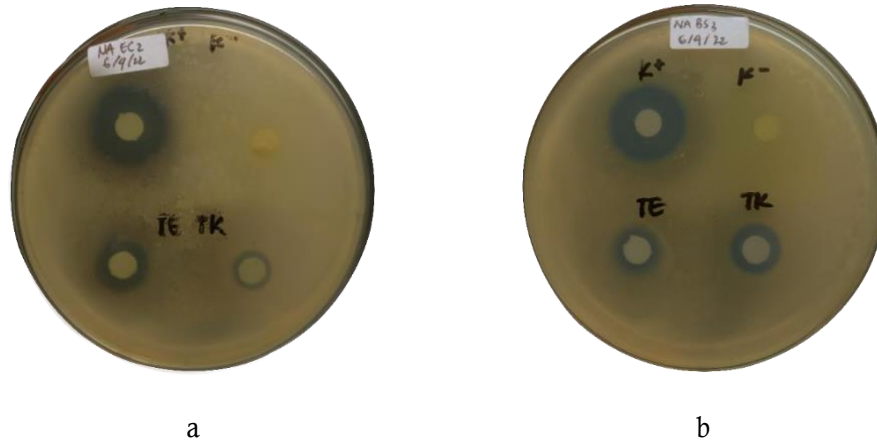
Tabel 2. Hasil uji aktivitas antibakteri TE dan TK

Bakteri Uji	Ulangan	Diameter Zona Hambat (mm)			
		K+	K-	TE	TK
<i>Escherichia coli</i>	U ₁	10.15	0	4.31	3.50
	U ₂	10.84	0	6.06	3.95
	U ₃	10.24	0	5.8	4.78
	U ₄	9.98	0	5.14	5.67
	Rata-rata±sd	10.3±0.3	0	5.3±0.7	4.4±0.9
<i>Bacillus subtilis</i>	U ₁	16.15	0	3.25	5,51
	U ₂	18.40	0	3.37	5,9
	U ₃	16,2	0	3.35	5.54
	U ₄	15,4	0	3,75	4.52
	Rata-rata±sd	16.5±1.2	0	3.4±0.2	5.3±0.5

Keterangan : (K+ : Chloramphenicol 0,025%, K- : Aquadest steril, TE : Ekstrak kasar *Trichoderma erinaceum*, TK : Ekstrak kasar *Trichoderma koningiopsis*)

Hasil uji aktivitas antibakteri yang diperoleh berbeda-beda terhadap jenis bakteri yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa zona penghambatan tergantung pada jenis dan kekuatan senyawa antibakteri dari masing-masing perlakuan serta jumlah komponen senyawa aktif yang dimiliki. Lestari *et al.*, (2016) menyatakan bahwa aktivitas antibakteri dipengaruhi oleh 4 faktor, yaitu: konsentrasi ekstrak, kandungan

senyawa metabolit, daya difusi ekstrak dan jenis bakteri yang dihambat.



Gambar 2. Hasil uji aktivitas antibakteri TE dan TK terhadap bakteri uji
(a) *Escherichia coli*, (b) *Bacillus subtilis*

Pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa zona hambat dari perlakuan kontrol positif menggunakan antibiotik berupa chloramphenicol 0,025% terhadap bakteri *Bacillus subtilis* lebih besar daripada bakteri *Escherichia coli*. Chloramphenicol adalah antibiotik yang memiliki spektrum luas dan efektif digunakan terhadap bakteri aerob maupun anaerob. Chloramphenicol memiliki kandungan senyawa aktif yang dapat bekerja dengan cara menghambat sintesis protein bakteri dengan mengikat subunit 50s dari ribosom. Chloramphenicol dapat mengganggu pengikatan asam amino pada rantai peptida dengan menghambat enzim peptidil transferase sehingga mengakibatkan terhambatnya sintesis protein dan menurunkan pembentukan energi serta struktur bakteri yang berpengaruh terhadap perkembangan bakteri (Dinos *et al.*, 2016).

Hasil zona hambat dari chloramphenicol (K^+) terhadap bakteri *B. subtilis* sebesar 16.5 mm sedangkan pada bakteri *E. coli* sebesar 10.3 mm. Hasil yang berbeda ini disebabkan adanya perbedaan struktur dinding sel kedua bakteri. Bakteri gram positif tersusun atas 90% oleh lapisan peptidoglikan dan 10% asam teikoat. Lapisan peptidoglikan pada gram positif lebih tebal dibandingkan dengan bakteri gram negatif. Lapisan tersebut tersusun atas *disaccharide-peptide* dan ikatan glikosida membentuk *glycan strands*. Meskipun lapisan peptidoglikan pada bakteri gram negatif lebih tipis dibandingkan gram positif, bakteri gram negatif terdiri atas membran dalam, peptidoglikan dan membran luar. Membran luar tersusun dari lipid bilayer dan *glikolipid lipopolysaccharide* (LPS) yang menjadikan struktur dari bakteri gram negatif lebih kompleks dibandingkan gram positif.

Perbedaan struktur antara bakteri gram positif dengan gram negatif berpengaruh pada sifat kepolaran bakteri. Bakteri gram negatif yang dilapisi lipid bilayer dan kompleks bersifat lebih tidak polar dibandingkan dengan bakteri gram positif, sehingga senyawa dengan pembawa sifat polar akan lebih susah menembus bakteri gram negatif (Sastrawan *et al.*, 2020; Ulfah, 2020). Hal tersebut kemungkinan menjadi penyebab hasil diameter zona hambat pada *B. subtilis* lebih besar daripada *E. coli*.

Efek antibakteri yang dihasilkan oleh *Trichoderma erinaceum* dan *Trichoderma koningiopsis* disebabkan oleh adanya senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam setiap isolat. Senyawa metabolit sekunder tersebut memiliki mekanisme antibakteri yang berbeda pada setiap bakteri uji yang digunakan. Mekanisme senyawa bioaktif sebagai antibakteri diantaranya seperti degradasi dinding sel,

kerusakan membran sitoplasma dan protein membran, kebocoran isi sel, koagulasi sitoplasma, dan penipisan gaya gerak proton (Karaca & Newman, 2015).

Senyawa flavonoid sebagai antibakteri dapat dilakukan dengan tiga cara, diantaranya dengan membunuh bakteri secara langsung, bersinergi dengan mengaktifkan senyawa antibiotik, dan melemahkan bakteri patogen (Cushnie & Lamb, 2011). Flavonoid memiliki sifat yang dapat mendenaturasi ikatan protein pada membran sel yang akan mengakibatkan lisis sel. Senyawa ini juga mampu masuk ke dalam inti sel sehingga terjadi perubahan permeabilitas sel yang dapat mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan sel atau sel tersebut mengalami kematian.

Flavonoid berikatan dengan protein melalui ikatan hidrogen sehingga mengakibatkan struktur protein menjadi rusak (Umar *et al.* 2012). Hal ini menyebabkan sel bakteri rentan bereaksi dengan flavonoid. Kerusakan membran sel menyebabkan terganggunya transpor nutrisi melalui membran sel sehingga sel bakteri mengalami kekurangan nutrisi yang diperlukan bagi pertumbuhannya. Kadar flavonoid yang tinggi dapat mengganggu dan merusak permukaan dinding sel bakteri serta kebocoran membran seluler. Eumkeb *et al.*, (2012) menyebutkan bahwa aktivitas senyawa flavonoid dapat menahan sintesis peptidoglikan dan ribosom bakteri *Escherichia coli* yang resisten terhadap amoxicillin (AREC/ *Amoxicillin Resistance Escheichia coli*).

Peran fenolik sebagai antibakteri dengan menyebabkan hiperpolarisasi membran sitoplasma, mengurangi integritas antara membran, meningkatkan ketidakstabilan membran melalui interaksi dengan membran lipid dan protein. Akibatnya terjadi disfungsi membran dan menyebabkan kematian sel bakteri (Dinos *et al.*, 2016). Jayaraman *et al.*, (2010) menyebutkan bahwa senyawa fenolik juga dapat menginduksi enzim topoisomerase IV yang menyebabkan stasis pada pertumbuhan bakteri dengan mengikat enzim *dihydrofolate reductase* (DHFR) bakteri, mengikat ATP binding site of gyrase B dan mengikat DNA bakteri sehingga bakteri tidak mampu melanjutkan aktivitas metabolismenya.

Triterpenoid memiliki sifat antibakteri melalui penghambatan *oxygen uptake* dan *oxidative phosphorylation* yang berpengaruh terhadap ketahanan hidup mikroorganisme. Terpenoid menyebabkan *uncoupling of oxidative phosphorylation* pada bakteri sehingga terjadi perubahan mekanisme tingkat seluler dan mengganggu pertumbuhan bakteri. Selain hal tersebut, terpenoid memiliki sifat lipofilik yang dapat berinteraksi dengan *lipophilic tails* atau porin (protein transmembran) pada membran luar dinding sel bakteri dengan membentuk ikatan polimer yang sangat kuat sehingga dapat merusak porin dan mengurangi permeabilitas dinding sel bakteri. Hal tersebut akan menyebabkan bakteri kekurangan nutrisi dan akan menghambat pertumbuhan bakteri sehingga bakteri tersebut mengalami lisis sel ataupun kematian (Wulansari *et al.*, 2020). Terpenoid memiliki sifat bakteriostatik yang lebih dominan daripada bakterisidal (Boakye, 2016; Mahizan *et al.*, 2019; Zengin & Baysal, 2014).

Tanin dapat dijadikan antibakteri dengan cara menghambat sintesis dinding sel bakteri baik dengan menonaktifkan enzim yang terlibat dalam sintesis dinding sel atau dengan mengikat langsung ke dinding sel (Trentin *et al.*, 2013). Terlebih lagi, asam tanat dapat langsung mengikat lapisan peptidoglikan dan menghancurkan integritas dinding sel (Dong *et al.*, 2018). Secara keseluruhan, tanin dapat mengganggu

sintesis dinding sel dan membuat bakteri lebih rentan untuk lisis osmotik.

Tanin dapat berinteraksi dengan membran sel bakteri untuk memediasi efek antibakteri baik dengan mempengaruhi potensi membran atau meningkatkan permeabilitas membran (Trentin *et al.*, 2013). Beberapa jenis tanin menargetkan membran luar bakteri gram negatif. Lipopolisakarida sebagai komponen utama dari membran luar, memberikan resistensi antibiotik terhadap bakteri Gram-negatif bakteri. Studi menemukan bahwa tanin dapat menghambat biosintesis asam lemak sebagai komponen pembentukan lipopolisakarida (Farha *et al.*, 2020).

Tanin memiliki aktivitas antibakteri yang hampir sama seperti terpenoid yaitu dengan menyebabkan lisis sel karena adanya tekanan osmotik maupun fisik terhadap dinding sel bakteri. Selain itu, senyawa tanin mampu menginaktifkan enzim dan adhesin sel bakteri, serta mengganggu transport protein pada membran dalam sel. Diketahui tanin juga mampu mengganggu proses pembentukan polipeptida sehingga dinding sel tidak terbentuk sempurna (Nurviana & Gunarti, 2016).

Hasil pengujian uji antibakteri yang tertera pada Tabel 2 menyatakan *Trichoderma erinaceum* yang sebelumnya diduga mengandung banyak senyawa fenolik lebih kuat menghambat pertumbuhan *Escherichia coli* dibandingkan *Bacillus subtilis*. Secara umum, bakteri Gram-negatif dilaporkan resisten terhadap banyak zat antibakteri, karena permukaan hidrofilik membran luarnya dan enzim terkait di ruang periplasma yang mampu memecah banyak molekul yang masuk dari luar. Hasil penelitian Karaca & Newman (2015) mengungkapkan beberapa bakteri pathogen misalnya *E.coli* dapat dihambat oleh senyawa fenolik dengan suatu rentang waktu tertentu. Apabila diperpanjang waktu inkubasinya maka bakteri akan beradaptasi melalui manipulasi gen sehingga bakteri menjadi resisten.

Senyawa fenolik merupakan senyawa makromolekul yang memiliki banyak subkelompok diantaranya: flavonoid, asam fenolat, stilbenes, lignan, tanin, alkaloid, saponin, *glycosides cardiac*, sterols, dan terpenoid (Panzarini *et al.*, 2022). Pembagian subkelompok ini berdasarkan jumlah gugus fenolik hidroksil yang melekat dan elemen struktural yang menghubungkan cincin benzene (Singh *et al.*, 2015). (Karaca & Newman, 2015) mengkonfirmasi senyawa fenolik menjanjikan untuk dijadikan sebagai antibakteri yang menyebabkan kerusakan fisik yang parah dan perubahan morfologi yang signifikan untuk bakteri gram negatif. Kekuatan senyawa fenolik dalam mengikat permukaan sel dan kemudian menembus ke situs target. Selain itu senyawa fenolik mampu menghambat gaya gerak proton, elektron transfer, oksidasi substrat pelepasan fosforilasi oksidatif, penghambatan transpor aktif, hilangnya keseimbangan metabolit, dan gangguan sintesis DNA, RNA, protein lipid, dan polisakarida (Gyawali & Ibrahim, 2014). *Trichoderma koningiopsis* mengandung banyak senyawa terpenoid, yang dimana TK lebih kuat menghambat pertumbuhan *Bacillus subtilis* dibandingkan *Escherichia coli*. *B. subtilis* merupakan bakteri gram positif yang susunan dinding sel bakterinya terdiri atas lapisan peptidoglikan yang tebal namun tidak memiliki lapisan lipid bilayer seperti *E.coli*, sehingga dinding sel bakteri gram positif lebih mudah ditembus oleh zat antibakteri. Senyawa terpenoid merupakan senyawa yang memiliki sifat lipofilik yang dapat berinteraksi dengan *lipophilic tails* atau porin (protein transmembran) pada membran luar dinding sel bakteri dengan membentuk ikatan polimer yang sangat kuat sehingga dapat merusak porin dan mengurangi permeabilitas dinding sel bakteri. Hal tersebut

akan menyebabkan bakteri kekurangan nutrisi dan akan menghambat pertumbuhan bakteri sehingga bakteri tersebut mengalami lisis sel ataupun kematian (Wulansari *et al.*, 2020).

Dari hasil uji antibakteri yang dilakukan dapat digolongkan respon zona hambat menurut Fajeriyati & Andika (2017) bahwa *Trichoderma erinaceum* memiliki sifat antibakteri yang tergolong sedang dalam menghambat pertumbuhan *E. coli* dengan diameter zona hambat 5.3 mm, dan tergolong lemah dalam menghambat pertumbuhan *B. subtilis* dengan diameter 3.4 mm. *Trichoderma koningiopsis* memiliki sifat antibakteri yang tergolong sedang dalam menghambat *B. subtilis* dengan diameter zona hambat 5.3 mm, dan tergolong lemah dalam menghambat *E. coli* dengan diameter zona hambat 3.4 mm.

SIMPULAN

Trichoderma erinaceum dan *Trichoderma koningiopsis* menghasilkan senyawa bioaktif, diantaranya senyawa flavonoid, fenolik, triterpenoid, dan tanin serta berpotensi sebagai antibakteri dengan respon hambatan lemah-sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, A., Hamawi, M., Ikhwan, A., & Arri, M. (2015). Uji Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp. Sebagai Antimikrobia Patogen Tanaman *Pseudomonas solanacearum* Secara In Vitro. *Gontor AGROTECH Science Journal*, 2(1), 19–30.
- Anindyawati, T. (2010). Potensi Selulase Dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian Untuk Pupuk Organik. *Berita Selulosa*, 45(2), 70–77.
- Boakye, Y. D. (2016). Anti-infective Properties and Time-Kill Kinetics of *Phyllanthus muellerianus* and its Major Constituent, Geraniin. *Medicinal Chemistry*, 6(2). <https://doi.org/10.4172/2161-0444.1000332>
- Chen, S., Li, H., Chen, Y., Li, S., Xu, J., Guo, H., Liu, Z., Zhu, S., Liu, H., & Zhang, W. (2019). Three new diterpenes and two new sesquiterpenoids from the endophytic fungus *Trichoderma koningiopsis* A729. *Bioorganic Chemistry*, 86(September 2018), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.02.005>
- Cushnie, T. P. T., & Lamb, A. J. (2011). Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 38(2), 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2011.02.014>
- Dinos, G. P., Athanassopoulou, C. M., Missiri, D. A., Giannopoulou, P. C., Vlachogiannis, I. A., Papadopoulos, G. E., Papaioannou, D., & Kalpaxis, D. L. (2016). Chloramphenicol derivatives as antibacterial and anticancer agents: Historic problems and current solutions. *Antibiotics*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/antibiotics5020020>
- Dong, G., Liu, H., Yu, X., Zhang, X., Lu, H., Zhou, T., & Cao, J. (2018). Antimicrobial and anti-biofilm activity of tannic acid against *Staphylococcus aureus*. *Natural Product Research*, 32(18), 2225–2228. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1366485>
- Elviasari, J., Rusli, R., & Ramadhan, A. M. (2016). Identifikasi Metabolit Sekunder Dan Uji Aktivitas Antibakteri Isolat Jamur Endofit Daun Beluntas (*Pluchea indica* (L.) Less.). *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 1(5), 214–220. <https://doi.org/10.25026/jsk.v1i5.42>
- Eumkeb, G., Siri Wong, S., Phitaktim, S., Rojtinakorn, N., & Sakdarat, S. (2012). Synergistic activity and mode of action of flavonoids isolated from smaller galangal and amoxicillin combinations against amoxicillin-resistant *Escherichia coli*. *Journal of Applied Microbiology*, 112(1), 55–64. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05190.x>
- Fajeriyati, N., & Andika. (2017). Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L.) Pada Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*. *Journal of Current Pharmaceutical Sciences*, 1(1), 36–41. journal.umbjm.ac.id/index.php/jcps
- Farha, A. K., Yang, Q. Q., Kim, G., Li, H. Bin, Zhu, F., Liu, H. Y., Gan, R. Y., & Corke, H.

(2020).

- Tannins as an alternative to antibiotics. *Food Bioscience*, 38(January), 100751. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100751>
- Fuadati, C. (2015). Identifikasi senyawa aktif metabolit sekunder jamur endofit dari temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) yang berpotensi sebagai senyawa antibakteri. In *Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.
- Guo, Y. W., Gong, B. Q., Yuan, J., Li, H. J., Mahmud, T., Huang, Y., Li, J. F., Yang, D. P., & Lan, W. J. (2020). 1-Phenylalanine Alters the Privileged Secondary Metabolite Production in the Marine-Derived Fungus *Trichoderma erinaceum* F1-1. *Journal of Natural Products*, 83(1), 79–87. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b00710>
- Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2014). Natural products as antimicrobial agents. *Food Control*, 46, 412–429. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.047>
- Husen, S., & Yunus, R. (2018). Uji Daya Hambat Perasan Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata* K Schum) Terhadap Pertumbuhan Jamur Penyakit Panu (*Malassezia Furfur*) Dengan Konsentrasi Yang Berbeda Menggunakan Metode Difusi Kertas Cakram (Paper disk). In *Doctoral dissertation, Poltekkes Kemenkes Kendari*.
- Jayaraman, P., Sakharkar, M. K., Lim, C. S., Tang, T. H., & Sakharkar, K. R. (2010). Activity and interactions of antibiotic and phytochemical combinations against *pseudomonas aeruginosa* in vitro. *International Journal of Biological Sciences*, 6(6), 556–568. <https://doi.org/10.7150/ijbs.6.556>
- Karaca, cetin hayriye, & Newman, C. melissa. (2015). Antimicrobial efficacy of plant phenolic compounds against *Salmonella* and *Escherichia Coli*. *Food Bioscience*, 11, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.03.002>
- Lestari, Y., Ardiningsih, P., & Nurlina. (2016). Aktivitas Antibakteri Gram Positif Dan Negatif Dari Ekstrak Dan Fraksi Daun Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb.) Asal Pesisir Sungai Kakap Kalimantan Barat. *Jkk*, 5(4), 1–8.
- Mahizan, N. A., Yang, S. K., Moo, C. L., Song, A. A. L., Chong, C. M., Chong, C. W., Abushelaibi, A., Erin Lim, S. H., & Lai, K. S. (2019). Terpene derivatives as a potential agent against antimicrobial resistance (AMR) pathogens. *Molecules*, 24(14), 1–21. <https://doi.org/10.3390/molecules24142631>
- Mona, S. A., Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Soliman, D. W. K., Wirth, S., & Egamberdieva, D. (2017). Increased resistance of drought by *Trichoderma harzianum* fungal treatment correlates with increased secondary metabolites and proline content. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(8), 1751–1757. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61695-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61695-2)
- Nurulita, Y., Yuharmen, Y., Nenci, N., Mellani, A. O., & Nugroho, T. T. (2020). Metabolit Sekunder Sekresi Jamur *Penicillium* spp. Isolat Tanah Gambut Riau sebagai Antijamur *Candida albicans*. *Chimica et Natura Acta*, 8(3), 133. <https://doi.org/10.24198/cna.v8.n3.32452>
- Nurviana, V., & Gunarti, N. S. (2016). Skrining Fitokimia Dan Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Kernel Biji Buah Bacang (*Mangifera foetida* L.) Terhadap *Escherichia coli*. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, 1(2), 28–36. <https://doi.org/10.36805/farmasi.v1i2.500>
- Panzarini, E., Carata, E., Mariano, S., Tenuzzo, B. A., Tacconi, S., Fidaleo, M., & Dini, L. (2022). Plant and human health. In *Nanotechnology-Based Sustainable Alternatives for the Management of Plant Diseases* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823394-8.00007-x>
- Sastrawan, I. G. G., Fatmawati, N. N. D., Budayanti, N. N. S., & Darwinata, A. E. (2020). Uji Daya Hambat Ekstrak Etanol 96% Daun Gamal (*Gliricidia Sepium*) Terhadap Bakteri Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC 3351. *Jurnal Medika Udayana*, 9(7), 1–6.
- Sibero, M. T., Sabdaningsih, A., Radjasa, O. K., Sabdono, A., Trianto, A., & Subagiyo, S. (2019). Karakterisasi Senyawa Bioaktif Kapang Laut *Trichoderma asperellum* MT02 dengan Aktivitas Anti-Extended Spectrum β -Lactamase (ESBL) *E. coli*. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(1), 9. <https://doi.org/10.14710/jkt.v22i1.3528>
- Singh, J. P., Kaur, A., Shevkani, K., & Singh, N. (2015). Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidant and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1190–1197. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12764>
- Tiwari, P., Kumar, B., Kaur, M., Kaur, G., & Kaur, H. (2011). Phytochemical screening and Extraction: A Review. *Internationale Pharmaceutica Sciencia*, 1(1), 98–106. <https://doi.org/10.1002/hep.29375>

- Trentin, D. S., Silva, D. B., Amaral, M. W., Zimmer, K. R., Silva, M. V., Lopes, N. P., Giordani, R. B., & Macedo, A. J. (2013). Tannins Possessing Bacteriostatic Effect Impair *Pseudomonas aeruginosa* Adhesion and Biofilm Formation. *PLoS ONE*, 8(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066257>
- Ulfah, M. U. (2020). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Aseton Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal FARMAKU (Farmasi Muhammadiyah Kuningan)*, 5(1), 25–31. <https://stikes-muhammadiyahku.ac.id/ojs.stikes-muhammadiyahku.ac.id/index.php/jurnalfarmaku/article/view/82>
- Wulansari, E. D., Lestari, D., & Khoirunissa, M. A. (2020). Kandungan Terpenoid Dalam Daun Ara (*Ficus carica* L.) Sebagai Agen Antibakteri Terhadap Bakteri Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Pharmakon*, 9(2), 219. <https://doi.org/10.35799/pha.9.2020.29274>
- Zengin, H., & Baysal, A. H. (2014). Antibacterial and antioxidant activity of essential oil terpenes against pathogenic and spoilage-forming bacteria and cell structure-activity relationships evaluated by SEM microscopy. *Molecules*, 19(11), 17773–17798. <https://doi.org/10.3390/molecules191117773>
- Zheng, W., Zheng, Q., Xue, Y., Hu, J., & Gao, M. T. (2017). Influence of rice straw polyphenols on cellulase production by *Trichoderma reesei*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 123(6), 731–738. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.01.009>