

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Yakon (*Smallanthus sonchifolius*)

Smallanthus sonchifolius yang lebih dikenal dengan nama yakon, adalah tanaman herba yang termasuk dalam keluarga *Asteraceae* dan berasal dari wilayah Andes yang membentang dari Kolombia hingga bagian barat laut Argentina (Silveira *et al.*, 2024). Sebagian wilayah Indonesia, tanaman ini dikenal dengan sebutan daun insulin karena dianggap bermanfaat bagi penurunan gula darah pada penderita diabetes melitus (Utami dan Lena, 2022).

Tanaman ini tumbuh optimal di lingkungan subtropis dan beriklim hangat pada ketinggian antara 600 hingga 3.500 meter di atas permukaan laut. Yakon merupakan tanaman tahunan dengan batang yang berbentuk silindris dan berwarna kehijauan, yang seluruh permukaannya tertutup bulu halus. Tanaman ini dapat tumbuh hingga mencapai ketinggian 2,5 meter dan memiliki akar umbi yang menyerupai buah dengan berbagai bentuk dan ukuran, serta rasa manis yang khas. Tanaman ini mencapai kematangan dalam rentang waktu 6 hingga 10 bulan setelah penanaman dan akarnya dapat dipanen setelah 10 hingga 12 bulan dari masa pertumbuhannya (Silveira *et al.*, 2024).

Akarnya mengandung pati dan mengandung mineral, seperti seng, fosfor, besi, tembaga, kalsium, vitamin B kompleks, vitamin C, triptofan, protein, lipid, dan polifenol (seperti asam protokatekuat, klorogenat, kafeat, dan ferulat). Senyawa bioaktif lainnya termasuk sterol, diterpen, asam lemak, minyak atsiri, p-hidroksi asetofenon, turunan asam oktulosonik yang bermanfaat bagi penyakit

Alzheimer dan dapat menurunkan kadar lipid darah, serta melindungi ginjal dan hati (Wang, 2022) .

Rimpang, daun, dan ekstrak yakon menunjukkan kandungan asam fenolik yang tinggi, terutama asam kafeat dan turunannya. Keberadaan senyawa bioaktif ini memberikan daya antioksidan dan antiinflamasi yang kuat. Selain itu, zat-zat ini dapat menurunkan glikemia dan meningkatkan sensitivitas insulin. Daunnya mengandung seskuiterpen lakton pada permukaan trikoma kelenjar. Senyawa ini menunjukkan kemampuan untuk menghambat proliferasi sel kanker pada berbagai jenis kanker, seperti kanker serviks, glioma, dan kolorektal. Selain itu, senyawa ini menunjukkan sifat antimikroba dengan menghambat bakteri Gram positif secara efektif (Yan *et al.*, 2023).

2.1.1 Klasifikasi Yakon (*Smallanthus sonchifolius*)

Berdasarkan klasifikasi karakteristik taksonomi Yakon, terdiri dari 23 spesies yang tersebar dari Amerika Serikat bagian tenggara hingga Argentina bagian tengah. Spesies *Smallanthus sonchifolius* berupa herba, semak, atau pohon kecil berakar umbi, daun berhadapan, berurat tiga, wadah daun berjari-jari pucat, mahkota daun berbulu di pangkal luar, tidak memiliki pappus, cypsela yang terbentuk berada di bagian tepi dan sebagian tertutup oleh filum bagian dalam involukrum (Vitali *et al.*, 2015).

Sedangkan klasifikasi filogenetik yakon sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>

Famili : *Asteraceae*
Suku : *Helianthae*
Genus : *Smallanthus*
Spesies : *Smallanthus sonchifolius* (Lebeda *et al.*, 2011).



Gambar 1. Daun yakon



Gambar 2. Bunga yakon

Gambar 1 dan Gambar 2. *from* (Yuan, 2017)

2.1.2 Morfologi Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)

Tanaman yakon merupakan tumbuhan tahunan (*perennial*) yang dapat tumbuh hingga mencapai ketinggian sekitar 2 meter serta menghasilkan bunga berukuran kecil berwarna kuning (Contreras Puentes dan Alviz-Amador, 2020). Sistem perakarannya terdiri atas 4 hingga 20 akar berbentuk umbi berdaging dengan panjang mencapai 25 cm dan diameter sekitar 10 cm. Pembentukan umbi tersebut merupakan hasil modifikasi jaringan parenkim pada bagian korteks akar (Lebeda *et al.*, 2011). Dalam satu tanaman, total berat akar dapat mencapai sekitar 10 kg (Caetano *et al.*, 2016).

Batang bagian atas (*aerial stem*) tanaman yakon memiliki bentuk silindris atau agak bersudut (*subangular*), serta menjadi berongga ketika memasuki fase dewasa dan bercabang di beberapa bagian. Daunnya tersusun berhadapan,

berwarna hijau, berbentuk deltoid, dan dilapisi trikoma kelenjar pada kedua permukaannya. Trikoma tersebut mengandung senyawa golongan terpenoid (Lebeda *et al.*, 2011).

2.1.3 Kandungan Daun Yakon (*Smallanthus sonchifolius*)

Beberapa penelitian membuktikan bahwa daun yakon memiliki beberapa efek biologis antara lain mencegah migrasi *polymorphonuclear leucocytes*, antibakteri, immunomodulasi, antioksidan, dan efek sitoprotektor. Di dalam daun yakon terdapat senyawa fenolik dari golongan asam bebas organik, asam klorogenat, asam kafeat beserta derivatnya, flavonoid, diterpen (Padilla *et al.*, 2019) dan seskuiterpen lakton (Yuan *et al.*, 2017).

Senyawa seskuiterpen lakton diketahui memiliki aktivitas antibakteri dan antifungi (Ojansivu *et al.*, 2011). Beberapa jenis seskuiterpen lakton yang telah teridentifikasi pada daun yakon dan terbukti memiliki aktivitas antimikroba antara lain enhydrin, uvedalin, fluctualin, dan sonchifolin (Lin *et al.*, 2003). Senyawa lainnya yang teridentifikasi pada daun yakon meliputi beberapa jenis asam fenolat, yaitu asam protokatekuat, asam klorogenat, asam kafeat, dan asam ferulat. Selain itu, metabolit sekunder yang terdapat dalam daun yakon antara lain sonchifolin, uvedalin, enhydrin, dan fluctualin (Ojansivu *et al.*, 2011).

Penelitian yang dilakukan Febrianti *et al.* (2021) menunjukkan bahwa daun yakon mengandung senyawa metabolit sekunder dari golongan flavonoid, alkaloid, dan steroid. Selain itu, ekstrak batang tanaman yakon diketahui mengandung senyawa flavonoid, alkaloid, fenolik, serta kuinon. Pada bagian kulit batang, senyawa metabolit sekunder yang terdeteksi meliputi flavonoid, alkaloid,

saponin, dan fenolik. Selain itu, daun yakon juga mengandung asam ent-kaurenoat yang berperan sebagai agen antimikroba. Senyawa ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur, terutama mikroorganisme Gram positif, namun tidak menunjukkan aktivitas yang signifikan terhadap mikroorganisme Gram negatif (Elawati dan Yuanita, 2021).

Tabel 1. Senyawa bioaktif yang berasal dari jamur

Senyawa Bioaktif	Efek Biologis	Referensi
<i>Caffeic acid</i>	Efek metabolik: antidiabetes Efek lainnya: antidepresan, antikanker, dan antivirus	Teboukeu <i>et al.</i> , 2018
<i>Chlorogenic acid</i>	Efek metabolik: antiinflamasi, antioksidan, dan antidiabetes	Ihara <i>et al.</i> , 2023
<i>Enhydrin</i>	Efek metabolik: antidiabetes dan antioksidan	Serra <i>et al.</i> , 2017
<i>Ferulic acid</i>	Efek metabolik: antidiabetes Efek lainnya: antimikroba dan antikarsinogenik	Sanshita <i>et al.</i> , 2024
<i>Melampolide</i>	Efek metabolik: antioksidan dan mengurangi angiogenesis Efek lain: antimikroba (menghambat sintesis DNA)	Barua <i>et al.</i> , 2021
<i>Phenolic acid</i>	Efek metabolik: antiinflamasi, antidiabetes, dan antioksidan Efek lainnya: antimikroba	Liu <i>et al.</i> , 2024

2.2 Jamur Endofit

2.2.1 Definisi Jamur Endofit

Endofit adalah mikroorganisme yang tumbuh di jaringan tanaman, menghasilkan senyawa bioaktif sebagai metabolit sekunder yang memiliki daya antimikroba, antimalaria, antikanker, dan sebagainya. Beberapa endofit terbukti menghasilkan senyawa alami yang khas bagi inangnya. Kemampuan mikroba endofit untuk menghasilkan metabolit sekunder yang identik dengan tanaman

inangnya menawarkan peluang besar untuk memproduksi senyawa tersebut melalui isolasi mikroba (Ho *et al.*, 2012).

Jamur endofit dapat hidup di intraseluler pada jaringan tanaman sehat. Jamur ini terdapat di dalam sistem jaringan tanaman, seperti akar, batang, daun maupun ranting tanaman tetapi tidak menimbulkan efek yang negatif. Jamur endofit tumbuh dan mendapatkan makanan dari tanaman inangnya. Jamur ini menginfeksi tanaman sehat pada jaringan tertentu dan mampu berinteraksi serta menghasilkan mikotoksin, enzim dan antibiotika (Swandari, 2020).

Jamur endofit berasosiasi dengan jaringan hidup pada tanaman. Dalam hal ini terjadi interaksi antara mikroba endofit dengan tanaman. Hubungan ini diperkirakan saling menguntungkan (*simbiosis mutualisme*), tanaman memberikan nutrisi untuk mikroba, lalu mikroba mentransformasi dan menghasilkan senyawa bioaktif (Fitriana *et al.*, 2016). Dari sekitar 300.000 jenis tanaman yang tersebar di muka bumi ini, masing-masing tanaman mengandung satu atau lebih mikroba endofit yang terdiri dari bakteri dan jamur (Fridayanti *et al.*, 2015).

2.2.2 Potensi Jamur Endofit

Endofit merupakan kelompok mikroorganisme yang terdiri atas bakteri dan jamur, yang masing-masing dapat diklasifikasikan sebagai endofit bakteri dan endofit jamur. Kedua kelompok ini memiliki karakteristik serta peran yang berbeda dalam hubungannya dengan tanaman inang. Endofit hidup secara simbiotik di dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan efek patogenik, melainkan memberikan manfaat timbal balik berupa pertukaran nutrisi dan perlindungan terhadap lingkungan eksternal. Mikroorganisme ini dapat ditemukan

pada berbagai bagian tanaman, baik di ruang antarseluler maupun intraseluler, yang meliputi akar, batang, daun, dan biji (Afzal *et al.*, 2019).

Salah satu karakteristik penting dari endofit adalah kemampuannya dalam menghasilkan berbagai senyawa bioaktif yang berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres biotik maupun abiotik. Senyawa-senyawa tersebut mencakup berbagai metabolit sekunder yang memiliki potensi biologis tinggi, seperti aktivitas antibakteri, antijamur, dan antioksidan. Kemampuan ini menjadikan endofit sebagai agen hayati yang berharga dalam menghadapi tantangan global, antara lain peningkatan ketahanan pangan, mitigasi polusi lingkungan melalui bioteknologi, serta eksplorasi sumber baru dalam penemuan senyawa bioaktif untuk pengembangan obat-obatan (Leichtweis *et al.*, 2021).

Keberadaan endofit memberikan manfaat yang signifikan bagi tanaman inang, seperti peningkatan pertumbuhan, efisiensi penyerapan nutrisi, serta ketahanan terhadap serangan penyakit. Selain peran ekologisnya, potensi endofit juga telah banyak dikaji dalam berbagai bidang terapan, seperti pertanian, bioremediasi, dan farmasi. Dalam konteks farmasi, jamur dan bakteri endofit dikenal mampu menghasilkan metabolit sekunder dengan aktivitas farmakologis yang beragam, seperti antibakteri, antikanker, dan antiinflamasi. Walaupun penelitian mengenai mikroorganisme endofit masih terus dikembangkan, organisme ini telah diakui sebagai sumber daya biologis yang sangat potensial untuk eksplorasi dan pengembangan senyawa obat baru (Arora *et al.*, 2022).

Jamur endofit berperan sebagai penghasil berbagai metabolit bioaktif antara lain alkaloid, asam fenolat, saponin, kuinon, steroid, terpenoid, dan tanin.

Senyawa-senyawa tersebut memiliki fungsi utama dalam melindungi tanaman inang dari berbagai tekanan biotik maupun abiotik, sehingga membantu mempertahankan kesehatan dan ketahanan tanaman (Lacava *et al.*, 2022).

Tabel 2. Pemanfaatan jamur endofit

Aplikasi	Deskripsi	Contoh	Referensi
Agen antimikroba	Jamur endofit menghasilkan berbagai metabolit sekunder seperti alkaloid, poliketida, dan peptida yang menunjukkan sifat antimikroba yang kuat. Senyawa-senyawa ini sangat penting dalam memerangi resistensi antimikroba (AMR) dengan menyediakan agen terapeutik baru untuk infeksi yang resistensi terhadap berbagai obat.	Alkaloid terprenilasi dari <i>Aspergillus chevalieri</i> menunjukkan aktivitas antibakteri yang kuat terhadap <i>Pseudomonas syringae</i> dan <i>Bacillus cereu</i> . Fumarat yang dihasilkan oleh <i>Fusarium redolens</i> memiliki efek antimikroba terhadap berbagai patogen.	Nazir <i>et al.</i> , 2022
Biokontrol pertanian	Jamur endofit berfungsi sebagai agen pengendali hayati alami yang menghambat patogen tanaman. Jamur endofit membantu meningkatkan kesehatan tanaman dengan bersaing memperebutkan nutrisi, menghasilkan senyawa penghambat dan merangsang mekanisme pertahanan tanaman.	Spesies <i>Trichoderma</i> , menghasilkan enzim hidrolitik dan antibiosis terhadap <i>Rhizoctonia solani</i> dan <i>Botrytic cinerea</i> , meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit.	Alsalamah <i>et al.</i> , 2024

Beberapa contoh metabolit dari jamur endofit yang berpotensi sebagai pengobatan dalam bidang kesehatan menurut (Triastuti, 2025) :

Tabel 3. Sumber metabolit dari jamur endofit

Sumber Endofit	Jenis Endofit	Senyawa dan Potensi
<i>Taxus sp.</i>	<i>Taxomyces andreana</i>	<i>Paclixel</i> : antikanker
<i>Terminalia morobensis</i>	<i>Pestalotiopsis microspora</i>	<i>Pastacin</i> dan <i>Isopestacin</i> : antioksidan
<i>Sinopodaphyllum hexandrum</i>	<i>Trametes hirsuta</i>	<i>Podophyllotoxin</i> : antikanker
<i>Catharanthus roseus</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Vicristine</i> , <i>Cheatoglobosin</i> : antikanker
<i>Tripterygium wilfordii</i>	<i>Fusarium subglutinans</i>	<i>Subglutinol A</i> dan <i>B</i> : immunosupresan
<i>Trifolium alexanderinum</i>	<i>Fusarium rosesus</i>	<i>Cyclosporin</i> : immunosupresan
<i>Astragalus adsurgens</i>	<i>Gaeumannomyces cylindrosporus</i>	<i>Melanin</i> : bioremediasi tanah

2.3. *Fusarium verticillioides*

2.3.1 Morfologi *Fusarium verticillioides*

Fusarium verticillioides pertama kali diisolasi dari jagung di Italia pada tahun 1877 sebagai *Oospora verticillioides* dan kemudian dikenal sebagai *Fusarium moniliforme* setelah dikaitkan dengan toksikologi hewan. Pada tahun 1976 para ahli mensinonimkan *Oospora verticillioides* dengan *Fusarium moniliforme*, yang berasosiasi dengan morf seksual *Gibberella moniliformis*. Sebelumnya, nama *Fusarium moniliforme* diterapkan dalam arti luas untuk mencakup setidaknya enam populasi kawin yang terisolasi secara reproduktif. Oleh karena itu, para ahli membatasi penerapan nama *Fusarium verticillioides* terhadap populasi perkawinan A dan spesies utama penghasil *Fumonisin*. Tidak ada tipe yang dapat ditemukan untuk *Fusarium verticillioides* sejati sebagaimana

dilaporkan. Para ahli menganggap kultur CBS 218.76 sebagai jalur asli dari *Fusarium verticillioides*. Oleh karena itu, kultur yang aktif secara metabolik ditetapkan sebagai jenis untuk *Fusarium verticillioides* (Yilmaz, 2021).

Fusarium verticillioides dapat tumbuh pada suhu sekitar 3 - 37 °C, dengan suhu optimum mendekati 25°C. Pertumbuhan jamur dimungkinkan hingga aktivitas air 0,87, tetapi sangat lambat di bawah 0,90. Spesies ini mampu tumbuh pada tekanan oksigen rendah, tetapi tidak dapat tumbuh tanpa tekanan oksigen sama sekali. *Fumonisin* dapat diproduksi hingga aktivitas air 0,92 (Yilmaz, 2021). Dari hasil makroskopis yang dilaporkan Aprodita (2025), *Fusarium verticillioides* memiliki tekstur kapas dengan permukaan isolat berwarna *orange*, tepian putih dan bentuk bulat tidak konsentris.



Gambar 3. Makroskopis *Fusarium verticillioides* (Aprodita, 2025)



Gambar 4. Mikroskopis *Fusarium verticillioides* (Yilmaz, 2021)

2.3.2 Taksonomi *Fusarium Verticillioides*

Klasifikasi taksonomi (Yilmaz, 2021) :

Kingdom	: <i>Fungi</i>
Divisi/Phylum	: <i>Ascomycota</i>
Kelas	: <i>Sordariomycetes</i>

Ordo : *Hypocreales*

Famili : *Nectriaceae*

Genus : *Fusarium*

Spesies : *Fusarium verticillioides* (syn. *F. moniliforme*).

Tabel 4. *Fusarium verticillioides* dari jamur endofit

Jenis Endofit	Sumber Endofit	Senyawa / Metabolit	Potensi Aktivitas	Refensi
<i>Fusarium verticillioides</i> strain YR5	<i>Syzygium malaccense</i> (daun dan batang)	3-methoxy-7-methylnapthalene 1,6-diol	Antibakteri (Zona Hambat terhadap <i>S.Aureus</i> 19,90 ± 0,78 mm), (Zona Hambat terhadap <i>E.Coli</i> 18,20 ± 0,92 mm)	Hapida <i>et al.</i> , 2024
<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	Fenolik, steroid dan terpenoid	Antibakteri (Zona Hambat 12,22 mm terhadap <i>S.Aureus</i> , Zona Hambat 6,7 mm terhadap <i>E.Coli</i>)	Aprodita, 2025
<i>Fusarium verticillioides</i> TPE1	<i>M.gagei</i> , <i>T.bellirica</i> , <i>O.indicu</i> , <i>E.latifolia</i> , <i>T.paniculatum</i> dan <i>C.annum</i> kombinasi EDTA	Asam fenolat dan turunan napthalenoid	Antibakteri gram negatif (<i>E.coli</i> 32-64 µg/mL dan <i>P.Aeruginosa</i> 512-2,048 µg/mL)	Rosdee <i>et al.</i> , 2025

<i>Fusarium verticillioides</i>	Jagung strain FJ284	Asam fusarat dan fusarubin	Antibakteri	Li <i>et al.</i> , 2025
<i>Fusarium sp.</i>	<i>Ascidian botryllus schlosseri</i>	Pyrrolo (1,2-a) pyrazine-1,4-dione, hexahydro-3-(2 methylpropyl)	Antibakteri (MIC 100 µg/mL terhadap <i>S.Aureus</i> dan 25 µg/mL terhadap <i>E.coli</i>)	Putra <i>et al.</i> , 2020
<i>Fusarium verticillioides</i> (isolat SJ6)	Kulit batang <i>Syzygium jambos</i>	3-hydroxy-4-(hydroxy(4-hydroxyphenyl)methyl) dihydrofuran-2-on	Antibakteri (MIC 64 µg/mL terhadap <i>S.aureus</i>)	Elfita <i>et al.</i> , 2022
<i>Fusarium sp.</i> (AHPE-4)	Isolat <i>Fusarium</i>	-	Antibakteri (Zona Hambat 15,5 ± 0,4 mm terhadap <i>Bacillus subtilis</i>)	Hoque <i>et al.</i> , 2023
<i>Fusaisocoumarin A</i>	Etil asetat jamur endofit <i>Fusarium verticillioides</i> Strain WF18	Emodin dan sesquiterpenoid phytohormone abscisic acid (ABA)	Antijamur	Ebrahim <i>et al.</i> , 2020

2.4 Antibiotik

2.4.1 Definisi Antibiotik

Antibiotik adalah sebuah senyawa yang menargetkan bakteri dan digunakan untuk mengobati dan mencegah infeksi bakteri. Antibiotik awalnya dihasilkan oleh jamur atau mikroorganisme, seiring perkembangan teknologi beberapa antibiotik dihasilkan dari proses sintesis senyawa kimia (Patel *et al.*, 2023). Mekanisme yang mendasari efikasi antibiotik melibatkan empat cara kerja yang berbeda (Kaur Sodhi dan Singh, 2022), termasuk penghambatan replikasi

DNA (Fabrega *et al.*, 2009), biosintesis protein (Tenson *et al.*, 2003), biosintesis dinding sel (Cho *et al.*, 2014), dan metabolisme asam folat (Svircev *et al.*, 2018). Selain membunuh atau menghentikan pertumbuhan bakteri, antibiotik juga berperan dalam membantu sistem pertahanan tubuh alami manusia untuk menyingkirkan mikroorganisme patogen (Schweickert *et al.*, 2013).

2.4.2 Resistensi Antibiotik

Ketika suatu mikroorganisme mampu bertahan hidup atau tumbuh pada konsentrasi antibiotik yang biasanya menghambat atau membunuh organisme lain dari spesies yang sama, mikroorganisme tersebut dianggap resisten (Kaur Sodhi dan Singh, 2022). Dalam praktik klinis, istilah "rentan" dan "resisten" sering digunakan untuk menggambarkan kemungkinan kegagalan pengobatan dengan antibiotik (Sabtu *et al.*, 2015). Resistensi lebih mungkin terjadi ketika pasien tidak mampu mencapai konsentrasi antibiotik yang diperlukan untuk menghambat atau membunuh bakteri (Ordway *et al.*, 2003). Mikroorganisme dapat secara inheren memiliki resistensi terhadap antibiotik atau memperolehnya setelah terpapar (Premlatha, 2019).

Perkembangan resistensi dapat terjadi melalui mutasi gen atau transfer langsung gen resistensi yang dapat dibawa oleh plasmid (elemen genetik) dan ditransmisikan melalui konjugasi (Shree *et al.*, 2023), atau melalui transformasi transfer DNA serupa dari bakteriofag (Kaur Sodhi dan Singh, 2022). Penggunaan antibiotik yang sembarangan dapat mendorong resistensi terhadap antibiotik yang disebabkan oleh berbagai faktor antara lain, ketidakpatuhan pasien terhadap pengobatan yang diresepkan, penggunaan antibiotik yang tidak rasional oleh

pemberi resep dalam pengobatan, iklan obat, dokter yang memberikan resep, penggunaan antibiotik di bidang pertanian, kualitas antibiotik yang buruk, pengawasan yang tidak memadai, dan uji kepekaan. Meskipun mengetahui diagnosis pasien, dokter dan pemberi resep dapat sangat dipengaruhi oleh permintaan pasien, yang dapat berkontribusi pada resistensi antimikroba dan antibiotik (Acharya dan Wilson, 2019).

2.4.3 Potensi Antibiotik Dari Jamur

Jamur adalah sumber dari beberapa obat terpenting yang pernah ditemukan, termasuk obat-obatan penting dalam sejarah. Senyawa-senyawa yang telah ditemukan dari jamur berperan penting dalam mengobati kondisi kronis, terutama untuk infeksi kronis (antibiotik dan antijamur), penyakit autoimun (imunosupresan), dan hiperkolesterolemia (statin). Selain menghasilkan senyawa bioaktif, jamur juga memainkan peran ekologis yang signifikan sebagai dekomposer dan simbiosis, yang membantu menjaga keseimbangan ekosistem sekaligus menjadi sumber potensial bagi penemuan senyawa baru dengan manfaat medis dan bioteknologis (Prescott *et al.*, 2023). Dari data penelitian oleh Prescott *et al.* (2023) ada banyak antibiotik yang sudah dikembangkan dari jamur, seperti :

Tabel 5. Antibiotik yang berasal dari jamur

Antibiotik	Turunan sintesis	Organisme sumber	Fungsi	Mekanisme
<i>Penicillin G dan V</i>	-	<i>Penicillium rubens</i>	Antibiotik	Inhibisi sintesis peptidoglikan dinding sel bakteri

<i>Cephalosporine C</i>	<i>Cephalosporins</i>	<i>Acremonium chrysogenum</i>	Antibiotik	Inhibisi sintesis peptidoglikan dinding sel bakteri
<i>Fusidic acid</i>	-	<i>Acremonium fusidioides</i>	Antibiotik	Inhibisi sintesis protein bakteri, mencegah translokasi faktor elongasi
<i>Pleuromutilin</i>	<i>Retapamulin</i>	<i>Clitophilus scyphoides</i>	Antibiotik	Penghambatan sintesis protein bakteri. Mengikat subunit ribosom 50S dan menghambat pusat peptidil transferase
<i>Fusafungine</i>	-	<i>Fusarium lateritium</i>	Antibiotik	Ekspresi dari makrofag alveolar melalui berbagai mekanisme

2.5. Bakteri Uji

Bakteri adalah organisme bersel satu atau uniseluler, tidak memiliki membran inti atau prokariotik, tidak memiliki klorofil, berkembang biak dengan aseksual yaitu pembelahan sel dan memiliki ukuran mikron sehingga dibutuhkan mikroskop untuk membantu pengamatan (Putri dan Yodong, 2017). Habitat bakteri tersebar luas di alam, seperti tanah, atmosfer, lumpur, dan laut. Bakteri dapat hidup bebas sebagai parasitik, saprofitik dan patogen pada manusia, hewan dan tumbuhan. Bakteri juga dapat hidup di tubuh manusia sebagai flora normal (Suryani dan Taupiqurrahman, 2021).

2.5.1 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus termasuk dalam genus *Staphylococcus* yang memiliki diameter 0,7-1,2 μm . Koloni dari *Staphylococcus aureus* merupakan β -hemolitik, yakni dapat memproduksi α -toksin, β -toksin, γ -toksin, dan δ -toksin. *Staphylococcus aureus* termasuk famili *Micrococcaceae* dengan ciri sel tunggalnya berbentuk bola dan tidak berspora. Genus *Staphylococcus* terdiri dari dua spesies, kelompok berupa untaian dan berwarna kuning serta bersifat saproba atau patogen (Bauman, 2012).

Klasifikasi *Staphylococcus aureus* adalah sebagai berikut:



Kingdom	: <i>Monera</i>
Filum	: <i>Firmicutes</i>
Class	: <i>Firmibacteria</i>
Ordo	: <i>Eubacteriales</i>
Famili	: <i>Micrococcaceae</i>
Genus	: <i>Staphylococcus</i>
Spesies	: <i>Staphylococcus aureus</i> (Rollando, 2019).

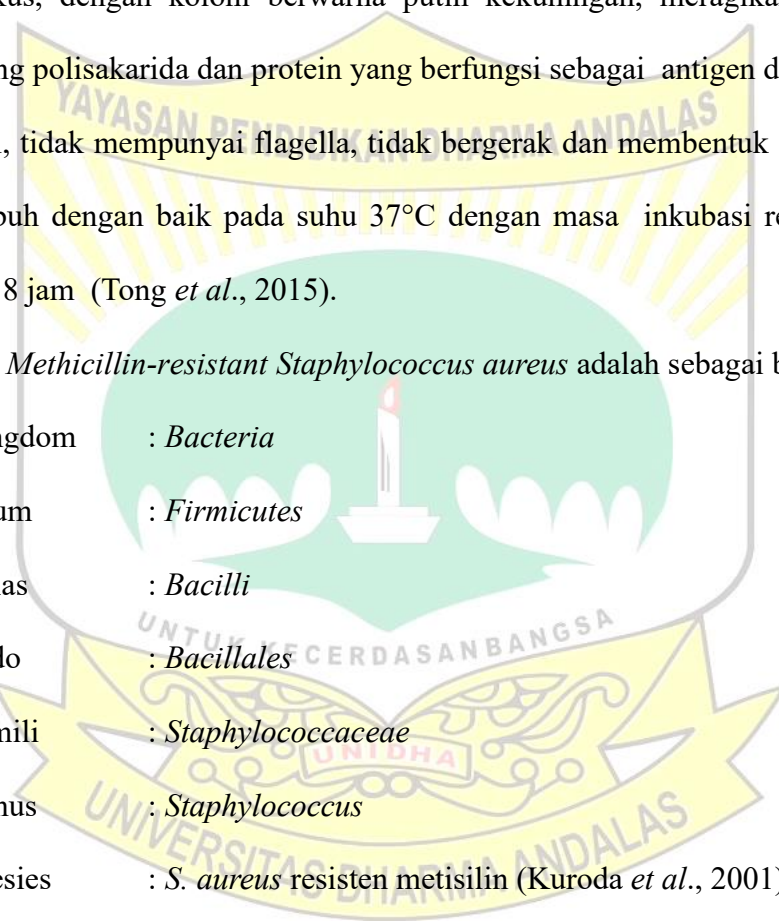
2.5.2 *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus*

Methicillin-resistant Staphylococcus aureus adalah strain *Staphylococcus aureus* yang resisten terhadap antibiotik golongan beta laktam, termasuk *penicillinase-resistant penicilline* (*metichillin*, *oxacillin*, *nafcilin*) dan *cefalosporin*. Resistensi terhadap methicillin ini didasari oleh protein pengikat penisilin tambahan yang terdapat pada bakteri yaitu PBP2a, yang menghasilkan gen *mecA* yang terdapat di transposon yang berdaya tarik rendah terhadap

antibiotik β -laktam dan memungkinkan *staphylococcus aureus* bertahan hidup dalam paparan antibiotik. Resistensi metisilin pada bakteri *Staphylococcus aureus* dilaporkan memiliki *minimum inhibitory concentration* (MIC) lebih besar atau sama dengan 4 $\mu\text{g/mL}$ (Tobin *et al.*, 2025).

Methicillin-resistant Staphylococcus aureus masuk dalam bakteri Gram positif kokus, dengan koloni berwarna putih kekuningan, meragikan manitol, mengandung polisakarida dan protein yang berfungsi sebagai antigen dan struktur dinding sel, tidak mempunyai flagella, tidak bergerak dan membentuk spora serta dapat tumbuh dengan baik pada suhu 37°C dengan masa inkubasi relatif lebih singkat 1 - 8 jam (Tong *et al.*, 2015).

Klasifikasi *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* adalah sebagai berikut:



Kingdom	: <i>Bacteria</i>
Filum	: <i>Firmicutes</i>
Kelas	: <i>Bacilli</i>
Ordo	: <i>Bacillales</i>
Famili	: <i>Staphylococcaceae</i>
Genus	: <i>Staphylococcus</i>
Spesies	: <i>S. aureus</i> resisten metisilin (Kuroda <i>et al.</i> , 2001).

2.6 Ekstraksi

2.6.1 Definisi Ekstraksi

Ekstraksi pada dasarnya merupakan metode penarikan atau pemisahan satu atau lebih komponen aktif senyawa metabolit sekunder dari jaringan tumbuhan ataupun hewan dengan menggunakan pelarut yang sesuai melalui prosedur yang

telah ditetapkan. Selama proses ekstraksi, pelarut akan berdifusi sampai ke material padat tumbuhan atau hewan yang menyebabkan dinding sel akan mengalami pembengkakan dan pelonggaran kerangka selulosa sehingga pori-pori dinding sel menjadi lebar yang membuat pelarut dapat dengan mudah masuk ke dalam sel (Tiwari *et al.*, 2011).

Pelarut yang digunakan harus mampu mengekstrak zat yang diinginkan tanpa melarutkan zat lain. Umumnya, proses pemisahan ekstraksi terdiri dari tiga langkah dasar:

- a. Pelarut dalam jumlah besar ditambahkan dan dikontakkan dengan sampel, biasanya melalui proses difusi
- b. Zat terlarut dipisahkan dari sampel dan dilarutkan dalam pelarut membentuk fase ekstraksi
- c. Pemisahan fase ekstrak dari sampel (Wilson *et al.*, 2000).

2.6.2 Jenis Ekstraksi

1. Ekstraksi Padat-Cair

Ekstraksi padat-cair merupakan suatu proses memisahkan *solute* dari padatan yang tidak dapat larut. Selama proses ekstraksi padat-cair, terdapat mekanisme yang terjadi yaitu suatu pelarut akan bercampur dengan padatan inert yang menyebabkan permukaan padatan dilapisi oleh pelarut. Proses ini menyebabkan massa pelarut berdifusi pada permukaan padatan inert ke dalam pori padatan inert tersebut. Laju difusi yang terjadi lambat karena pelarut harus menembus dinding sel padatan. Campuran *solute* yang terdapat dalam pelarut berdifusi keluar dari permukaan padatan inert sehingga bercampur dengan pelarut sisa (Amri Aji, 2017).

2. Ekstraksi Cair-Cair

Ekstraksi cair-cair merupakan suatu pemisahan secara kimia fisika, ekstraksi dipisahkan dari fasa air menggunakan pelarut organik, yang tidak larut di dalam air secara kontak langsung, baik secara *kontinu* dan *diskontinu*. Ekstraksi cair-cair ini memiliki keunggulan, yaitu pelarut organik yang dapat di daur ulang, dapat digunakan berulang, dan dapat memisahkan asam-asam karboksilat antara satu asam dengan asam lainnya, serta memiliki kemurnian yang tinggi (Putranto, 2009).

Ekstraksi cair-cair menjadi proses pemisahan yang unggul, larutan yang akan dipisahkan memiliki sifat fisika yang mirip, yaitu memiliki titik didih yang perbedaannya relatif kecil. Ekstraksi cair-cair mempunyai prinsip dasar yaitu suatu larutan akan mengalami pengontakan dengan pelarut (*solvent*) lain yang tidak melarut (*immisible*) dengan pelarut asal yang memiliki perbedaan densitas sehingga dapat membentuk dua fasa setelah penambahan pelarut (Mirwan, 2013).

2.6.3 Metode Ekstraksi

A. Ekstraksi Cara Dingin

Metode ekstraksi dengan cara dingin tidak dilakukan pemanasan selama proses ekstraksi berlangsung yang bertujuan supaya senyawa yang diinginkan tidak rusak. Berikut beberapa metode ekstraksi cara dingin:

1. Maserasi

Maserasi merupakan suatu metode sederhana yang paling banyak digunakan karena dapat digunakan untuk skala kecil maupun skala industri. Cara kerja metode ini pertama masukkan serbuk tanaman dan pelarut yang sesuai ke dalam wadah *inert* yang tertutup rapat pada suhu kamar. Ketika telah tercapai

kesetimbangan antara konsentrasi senyawa dalam pelarut dengan konsentrasi dalam sel tanaman maka proses ekstraksi dihentikan. Apabila proses ekstraksi telah selesai maka pelarut dipisahkan dari sampel dengan cara penyaringan (Mukhriani, 2014).

2. Perkolasi

Ekstraksi yang dilakukan secara perkolasi dilakukan dengan cara mengalirkan cairan penyari melalui serbuk simplisia yang sebelumnya telah dibasahi. Cairan penyari dialirkan dari atas ke bawah melalui serbuk dan akan melarutkan zat aktif di dalam sel-sel hingga jenuh. Tahapan ekstraksi dengan perkolasi dilakukan pada suhu ruang 30°C yang berguna untuk meningkatkan efisiensi proses ekstraksi dengan mengurangi beban bakar sekaligus mengontrol suhu pada proses ekstraksi. Peningkatan kelarutan bahan aktif dalam cairan penyari dipengaruhi oleh suhu. Suhu ekstraksi yang terkontrol diharapkan dapat mengurangi *variabilitas* sehingga akan diperoleh rendemen yang banyak (Puspo Aji *et al.*, 2023).

B. Ekstraksi Cara Panas

Metode ekstraksi cara panas melibatkan proses pemanasan selama ekstraksi berlangsung. Pemanasan akan mempercepat proses ekstraksi dibandingkan dengan cara dingin. Berikut beberapa metode ekstraksi cara panas:

1. Refluks

Metode refluks termasuk metode ekstraksi sederhana, murah, dan mudah digunakan pada skala industri. Hasil ekstraksi dari metode refluks dapat memberikan rendemen tertinggi dibandingkan menggunakan ekstraksi secara

maserasi dan soxhlet. Hal ini dikarenakan metode ekstraksi cara panas dapat mencari senyawa yang terkandung dalam simplisia (Desmiaty *et al.*, 2019). Metode refluks dilakukan dengan pemanasan selama 4 jam dengan suhu 70°C. Selanjutnya lakukan penyaringan supaya antara ampas dan filtratnya terpisah. Ekstrak cair diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator* sehingga diperoleh ekstrak kental (Maryam *et al.*, 2023).

2. Soxhletasi

Metode ini dilakukan dengan cara sampel diletakkan di dalam kertas saring. Sampel ditempatkan di atas labu dan di bawah kondensor. Gunakan pelarut yang sesuai lalu masukkan ke dalam labu dan atur suhu penangas dibawah suhu reflux. Metode soxhlet ini memiliki keuntungan yaitu proses ekstraksi kontinu, tidak membutuhkan banyak pelarut, dan tidak membutuhkan waktu yang lama (Mukhriani, 2014).

2.7 Fraksinasi

Fraksinasi adalah teknik pemisahan dan pengelompokan kandungan kimia ekstrak berdasarkan kepolaran. Pada proses fraksinasi digunakan dua pelarut yang tidak tercampur dan memiliki tingkat kepolaran yang berbeda. Fraksinasi bertingkat menggunakan pelarut berbeda berdasarkan tingkat kepolaritasannya yang menghasilkan ekstrak alami yang berbeda, sehingga senyawa metabolit sekunder dapat tertarik secara maksimal oleh pelarut (Putri *et al.*, 2023).

Fraksinasi pada prinsipnya menarik senyawa pada suatu ekstrak dengan menggunakan pelarut yang tidak saling bercampur. Pelarut yang umumnya dipakai untuk fraksinasi adalah *n*-heksan, etil asetat, dan metanol. Untuk menarik

lemak dan senyawa non polar digunakan *n*-heksan, dan etil asetat untuk menarik senyawa semi polar, sedangkan metanol untuk menarik senyawa-senyawa polar. Dari proses ini dapat diketahui sifat kepolaran dari senyawa yang akan dipisahkan. Sebagaimana diketahui bahwa senyawa-senyawa yang bersifat non polar akan larut dalam pelarut yang non polar, sedangkan senyawa-senyawa yang bersifat polar akan larut dalam pelarut yang bersifat polar (Cahyani, 2018).

2.8 Kromatografi Kolom

Salah satu metode pemisahan senyawa dalam jumlah besar adalah menggunakan kromatografi kolom. Pada kromatografi kolom fasa diam yang digunakan dapat berupa silika gel, selulose atau poliamida. Sedangkan fasa geraknya dapat dimulai dari pelarut non polar kemudian ditingkatkan kepolarannya secara bertahap, baik dengan pelarut tunggal ataupun kombinasi dua pelarut yang berbeda kepolarannya dengan perbandingan tertentu sesuai tingkat kepolaran yang dibutuhkan. (Hajnos *et al.*, 2011).

Metode kromatografi kolom ini digunakan untuk memisahkan dan memurnikan komponen pada suatu campuran. Fasa diam yang digunakan adalah adsorben bubuk yang ditempatkan pada kolom kaca vertikal. Campuran yang akan dianalisis ditempatkan pada lapisan atas kolom. Fasa gerak yang berupa pelarut murni ataupun campuran beberapa pelarut dituangkan di atas sampel. Pelarut akan mengalir ke bawah dan menyebabkan komponen campuran terdistribusi di antara adsorben bubuk dan pelarut yang digunakan, pemisahan terjadi saat pelarut membawa komponen melalui ujung bawah dari kolom, beberapa komponen akan keluar lebih dahulu dan ada beberapa komponen yang

keluar di akhir. Laju elusi yang terjadi dipengaruhi juga oleh gaya gravitasi, oleh karena itu kromatografi kolom biasa disebut juga kromatografi kolom gravitasi (Hajnos *et al.*, 2011)

Untuk memaksimalkan proses pemisahan pada kromatografi kolom, perlu dilakukan peningkatan teknik kromatografi kolom dari segi kualitas maupun kuantitas, misalnya dengan mengubah ukuran kolom, ukuran partikel pada fase diam, komposisi fase gerak, dan lain-lain. Fase gerak yang digunakan harus sudah ditentukan sebelumnya agar diperoleh pola pemisahan yang diinginkan, karena kromatografi kolom memerlukan waktu lama dan bahan yang cukup banyak. Ada tiga pendekatan yang digunakan untuk memecahkan masalah ini yaitu dengan penelusuran pustaka, penerapan data KLT pada pemisahan dengan kolom dan dengan pemakaian elusi mulai dari pelarut non-polar sampai pelarut polar atau yang dikenal dengan metoda SGP (*step gradient polarity*) dengan peningkatan kepolaran dari n-heksan 100% hingga metanol 100% (Kristanti *et al.*, 2008).

Pemilihan fasa gerak juga merupakan langkah yang penting untuk keberhasilan isolasi senyawa. Sifat-sifat pelarut juga sangat berpengaruh terhadap penentuan mobilitas komponen-komponen campuran. Kemampuan pelarut untuk menggerakkan suatu senyawa berhubungan dengan kekuatan elusi pelarut. Urutan kekuatan elusi beberapa pelarut air > metanol > etanol > aseton > etil asetat > kloroform > dietil eter > metilen diklorida > benzena > toluena > karbon tetraklorida > heksana > petroleum eter (Atun, 2014).

Silika gel adalah fase diam (adsorben) yang paling sering digunakan untuk pemisahan produk alam. Banyaknya adsorben yang digunakan bergantung pada tingkat kesulitan pemisahan dari suatu senyawa dan jumlah sampel yang akan dipisahkan. Secara umum, tiap gram sampel yang dipisahkan membutuhkan adsorben 20 - 50 gram. Jika pemisahan yang dilakukan cukup sulit, maka jumlah adsorben yang dibutuhkan dapat mencapai 200 gram. Jumlah adsorben yang dibutuhkan akan lebih sedikit untuk pemisahan senyawa-senyawa yang perbedaan kepolarannya cukup besar (Kristanti *et al.*, 2008).

Permukaan silika gel mengandung gugus silanol. Gugus hidroksil ini merupakan pusat aktif dan berpotensi dapat membentuk ikatan hidrogen kuat dengan senyawa yang dipisahkan. Silika gel membentuk ikatan hidrogen terutama dengan donor H seperti alkohol, fenol, amina, amida, dan asam karboksilat. Semakin kuat kemampuan ikatan hidrogen suatu senyawa, maka semakin kuat pula senyawa yang akan tertahan oleh silika gel. Seberapa kuat senyawa tertahan dalam silika gel tergantung pada kepolaran fase gerak. Semakin kuat kemampuan ikatan hidrogen suatu *solven*, semakin baik eluen untuk meluluskan senyawa polar yang teradsorpsi pada kolom silika gel. Fase diam yang digunakan pada proses pemisahan kromatografi kolom adalah silika gel G-60 (0,063-0,200 mm) (Noviyanti *et al.*, 2010).

2.9 Kromatografi Lapis Tipis

Kromatografi Lapis Tipis (KLT) adalah salah satu alat pemisah dan alat uji senyawa kimia secara kualitatif dan kuantitatif. Kromatografi Lapis Tipis (KLT) merupakan metode pemisahan komponen kimia berdasarkan adsorpsi dan partisi,

yang ditentukan oleh fase diam (adsorben) dan fase gerak (eluen). Kromatografi Lapis Tipis (KLT) digunakan untuk menentukan banyaknya komponen dalam campuran, identifikasi senyawa, dan memantau berjalannya suatu reaksi, namun secara utama KLT digunakan untuk menentukan kemurnian serta identitas dari suatu senyawa isolat. Nilai R_f didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh senyawa dibagi dengan jarak yang ditempuh oleh garis depan fase pengembang, nilai R_f digunakan sebagai bukti dalam mengidentifikasi senyawa, jika nilai R_f memiliki nilai yang sama maka senyawa tersebut dapat dikatakan memiliki karakteristik yang sama atau mirip. Nilai R_f yang baik yaitu antara 0,2-0,8 (Haris *et al.*, 2023).

Analisis KLT dilakukan untuk menentukan pelarut yang terbaik untuk kromatografi kolom dan analisis fraksi-fraksi hasil kolom (Kusmiyati *et al.*, 2011). Teknik pemisahan KLT menggunakan prinsip distribusi suatu senyawa pada fasa diam dan fasa gerak, yang didasarkan pada perbedaan kepolaran dengan menggunakan plat KLT yang memiliki lapisan tipis di atasnya yaitu plat silika gel F254, jika ditambahkan indikator fluorosensi dapat membantu kenampakan bercak berwarna pada lapisan tersebut. Indikator fluorosensi pada plat silika gel F254 merupakan senyawa yang mampu memancarkan sinar dengan lampu UV. Identifikasi dari senyawa yang telah terpisah dapat dihitung menggunakan nilai R_f sebagai dasar penggabungan isolat hasil kromatografi kolom yang mempunyai nilai R_f sama dengan persamaan (Kusmiyati *et al.*, 2011):

$$R_f = \frac{\text{distance spot travel}}{\text{distance solvent travel}}$$

Metode KLT dapat mengkonfirmasi lebih lanjut hasil dari skrining fitokimia. KLT digunakan untuk menganalisis sejumlah kecil zat organik, termasuk menentukan jumlah partikel metabolit sekunder. Daya elusi dan resolusi ini ditentukan oleh total polaritas pelarut, polaritas fase diam, dan karakteristik komponen sampel (Elisabeth *et al.*, 2020).

2.10 Metode Pengujian Aktivitas Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan tujuan diperolehnya sistem pengobatan yang efektif dan efisien. Proses pengujiannya dilakukan dengan mengukur pertumbuhan mikroorganisme terhadap agen bakteri (Rahmadani, 2015). Adapun cara pengujian antibakteri sebagai berikut:

2.10.1 Metode Difusi

1. Metode Cakram (*Kirby-Bauer*)

Metode ini untuk menentukan aktivitas agen antibakteri. Dilakukan dengan meletakkan piringan berisi antibakteri agar berdifusi kedalam media agar (Pratiwi, 2008). Setelah itu diinkubasi pada suhu 37°C selama 18 - 24 jam. Daerah bening disekitar cakram menunjukkan adanya hambatan pertumbuhan mikroorganisme oleh agen antibakteri (Maradona, 2013).

2. Metode Difusi Agar Sumuran (*Agar Well Diffision*)

Metode difusi agar sumuran digunakan untuk mengevaluasi aktivitas antibakteri tanaman. Dalam metode difusi sumuran, permukaan plat agar diinokulasi dengan menyebarkan volume inokulum bakteri diatas seluruh permukaan agar. Lubang diameter 6 - 8 mm diisi secara aseptis dengan ekstrak pada konsentrasi yang diinginkan, lalu plat agar diinkubasi dalam kondisi yang

sesuai pada uji mikroorganisme. Antibakteri berdifusi dalam media agar dan menghambat pertumbuhan strain bakteri yang diuji (Balouiri *et al.*, 2016).

2.10.2 Metode Dilusi

1. Metode Dilusi Cair (*Broth Dilution Test*)

Metode ini digunakan untuk mengukur Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) dan Kadar Bunuh Minimum (KBM). Cara yang dilakukan adalah dengan membuat seri pengenceran agen antibakteri pada medium cair yang ditambahkan dengan bakteri uji. Larutan uji agen antibakteri pada kadar terkecil yang terlihat jernih tanpa adanya pertumbuhan bakteri uji ditetapkan sebagai KHM. Larutan yang ditetapkan sebagai KHM selanjutnya dikultur ulang pada media cair tanpa penambahan bakteri uji ataupun agen antibakteri, dan diinkubasi selama 18-24 jam. Media cair yang tetap terlihat jernih setelah diinkubasi ditetapkan sebagai KBM (Hasibuan, 2016).

2. Metode Dilusi Padat (*Solid Dilution Test*)

Metode ini serupa dengan metode dilusi cair namun menggunakan media padat. Pada dilusi padat tiap konsentrasi obat dicampurkan dengan media agar lalu ditanami bakteri dan diinkubasi. Keuntungan metode ini adalah satu konsentrasi agen antibakteri yang diuji dapat digunakan untuk menguji beberapa bakteri uji (Hasibuan, 2016).

2.10.3 Metode Bioautografi

Bioautografi merupakan metode skrining mikrobiologi yang umum digunakan untuk mendeteksi adanya aktivitas antimikroba. Metode skrining ini

memberikan sensitivitas yang lebih tinggi dari pada metode lainnya (Choma, 2011). Ada beberapa metode bioautografi, seperti:

a. Bioautografi kontak

Prinsip dari bioautografi kontak, plat kromatografi diletakkan pada permukaan agar yang telah diinokulasi bakteri uji. Senyawa aktif akan berdifusi dari lempeng ke agar, ditandai dengan terbentuknya zona bening (hambatan pertumbuhan) setelah inkubasi. Pertumbuhan bakteri uji akan tampak pada permukaan yang membentuk zona hambat pada plat KLT ketika di semprotkan dengan reagen resazurin (Choma, 2011).

b. Bioautografi imersi

Pada bioautografi imersi, plat kromatogram dicelup pada medium agar, setelah agar memadat ditambahkan bakteri uji lalu diinkubasi. Metode ini merupakan kombinasi dari bioautografi kontak dan langsung, karena senyawa antimikroba ditransfer dari kromatogram ke media agar, seperti dalam metode kontak, tetapi lapisan agar tetap pada permukaan kromatogram selama inkubasi dan visualisasi seperti pada bioautografi langsung (Choma, 2011).

c. Bioautografi langsung

Prinsip dari metode bioautografi langsung ini adalah plat KLT dicelupkan pada suspensi mikroorganisme yang kemudian diinkubasi. Visualisasi dari zona ini biasanya dilakukan dengan menggunakan reagen *dehydrogenase* untuk mendeteksi aktivitas, yang paling umum adalah garam tetrazolium. *Dehydrogenase* mikroorganisme mengkonversi garam tetrazolium menjadi berwarna, sehingga terlihat spot krem putih dengan latar belakang ungu pada permukaan plat KLT menunjukkan keberadaan agen antibakteri (Choma, 2011).