

Peranan Metabolit Sekunder sebagai Antifungi

Putri Imelda Nasrul¹, Moralita Chatri²

^{1,2}Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat, Indonesia
e-mail: moralitachatri@gmail.com

Abstrak

Tumbuhan memiliki sumber senyawa fitokimia yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah senyawa metabolit. Ada dua jenis senyawa metabolit yaitu metabolit primer dan sekunder. Metabolit sekunder merupakan komponen kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan melalui biosintesis senyawa metabolit primer. Metabolit sekunder adalah molekul kecil, bersifat spesifik, mempunyai struktur, serta memiliki fungsi atau peranan yang berbeda-beda. Ada beberapa manfaat dari senyawa ini yaitu sebagai antifungi, antioksidan, antiinflamasi, dan antibakteri. Senyawa metabolit sekunder yang umum terdapat pada tumbuhan adalah fenol, flavonoid, alkaloid, saponin, dan tanin. Review ini bertujuan untuk menambah pengetahuan dan wawasan mengenai senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai antifungi. Metode review ini dilakukan dengan memilih penelitian yang relevan dan berkaitan dengan senyawa metabolit sekunder.

Kata kunci: *Metabolit Sekunder, Antifungi*

Abstract

Plants have sources of phytochemical compounds that can be utilized, one of which is metabolite compounds. There are two types of metabolite compounds, namely primary and secondary metabolites. Secondary metabolites are chemical components produced by plants through the biosynthesis of primary metabolite compounds. Secondary metabolites are small molecules, are specific, have structures, and have different functions or roles. There are several benefits of this compound, namely as an antifungal, antioxidant, anti-inflammatory and antibacterial. Secondary metabolite compounds commonly found in plants are phenols, flavonoids, alkaloids, saponins and tannins. This review aims to increase knowledge and insight regarding secondary metabolite compounds that act as antifungals. This review method was carried out by selecting research that was relevant and related to secondary metabolite compounds.

Keywords : *Secondary Metabolite, Antifungals*

PENDAHULUAN

Sumber keanekaragaman hayati di Indonesia merupakan salah satu kekayaan alam yang berperan penting dalam berbagai lapisan masyarakat. Sebagai negara dengan budaya yang masih kental akan pemanfaatan ragam tanaman tradisional untuk mengobati berbagai penyakit ataupun sebagai bahan pestisida alami (Baud *et al.*, 2014). Dikarenakan tumbuhan memiliki senyawa fitokimia yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah senyawa metabolit. Tumbuhan memiliki dua jenis senyawa metabolit, yaitu metabolit primer dan sekunder. Metabolit primer digunakan tanaman untuk pertumbuhan, sedangkan metabolit sekunder tidak berperan secara langsung untuk pertumbuhan tanaman (Nofiani, 2008). Sedangkan, metabolit sekunder merupakan senyawa organik yang dihasilkan tumbuhan tetapi tidak memiliki fungsi langsung pada fotosintesis, pertumbuhan atau respirasi, transportasi zat terlarut, translokasi, sintesis protein, asimilasi nutrient, diferensiasi, pembentukan karbohidrat, protein dan lipid (Mastuti, 2016).

Senyawa metabolit sekunder merupakan komponen kimia yang dihasilkan tumbuhan melalui biosintesis senyawa metabolit primer (Putri, 2015). Tumbuhan mampu mensintesis berbagai metabolit sekunder dengan struktur dan kerangka karbon yang kompleks dan unik. Metabolit sekunder tersebut merupakan salah satu sumber keanekaragaman struktur kimia dan aktivitas biologi. Sekitar 14 – 28% ekstrak tumbuhan atau tanaman tingkat tinggi digunakan sebagai obat-obatan, dan 74% diantaranya diketahui mempunyai fungsi medisinal setelah melalui proses etnomedik (Cavoski *et al.*, 2011). Metabolit sekunder diproduksi sebagai bentuk pertahanan diri terhadap gangguan dari organisme lain dan lingkungan (Li *et al.*, 2020).

Senyawa metabolit sekunder sangat bervariasi dalam jumlah dan jenisnya dari setiap tumbuh-tumbuhan. Beberapa dari senyawa tersebut telah diisolasi, sebagian diantaranya memberikan efek fisiologi dan farmakologi yang lebih dikenal dengan senyawa aktif. Senyawa tersebut adalah golongan alkaloid, steroid, terpenoid, fenolik, flavonoid, saponin, dan tanin (Ergina *et al.*, 2014). Untuk mendapatkan kandungan metabolit sekunder utama tersebut dapat dilakukan dengan cara melakukan optimasi dalam proses pembuatan ekstrak menggunakan metode ekstraksi. Metode ekstraksi adalah salah satu optimasi yang bisa dilakukan untuk menghasilkan kandungan metabolit sekunder utama (Ningsih *et al.*, 2020). Beberapa manfaat dari kandungan senyawa metabolit sekunder ini berpotensi sebagai antifungi, antioksidan, antikanker, dan antiinflamasi (Gunawan *et al.*, 2016).

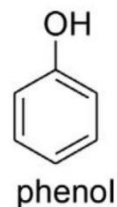
Berdasarkan manfaat yang dihasilkan oleh metabolit sekunder tersebut, maka diperlukan pembahasan untuk mengeksplorasi tentang pengembangan serta manfaat yang lebih lanjut terhadap kandungan metabolit sekunder yang berfungsi sebagai antifungi.

METODE

Metode penelitian yang digunakan pada penulisan artikel ini adalah menggunakan literature review dengan tahun terbitan secara acak. Bagian utama yang diambil sebagai literature review dalam penulisan artikel ini adalah bagian abstrak, pendahuluan, pembahasan serta kesimpulan pada studi literatur.

Senyawa Fenolik

Senyawa fenolik adalah metabolit sekunder bioaktif yang terdistribusi secara luas di tanaman terutama disintesis oleh asam sikamat, pentosa fosfat dan jalur fenilpropanoid (Balasundram *et al.*, 2006). Secara struktural, senyawa fenolik mencakup sejumlah senyawa yang memiliki cincin aromatik dengan satu atau lebih gugus hidroksil (OH) dan dapat bervariasi dari molekul sederhana hingga polimer kompleks (Haminiuk *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2015). Senyawa fenolik cenderung larut dalam air dan umumnya berada dalam vakuola sel, serta keragaman struktur senyawa fenolik yang telah diidentifikasi saat ini diketahui mencapai lebih dari 8.000 struktur (Mahardani & Yuanita, 2021).



Gambar 1. Struktur fenol (Mamari, 2021)

Senyawa fenolik merupakan senyawa yang dihasilkan oleh tumbuhan sebagai respons terhadap stres lingkungan. Senyawa fenolik berfungsi sebagai pelindung terhadap sinar UV-B dan kematian sel untuk melindungi DNA dari dimerisasi dan kerusakan (Lai & Lim, 2011). Komponen pada senyawa ini diketahui memiliki peranan penting sebagai agen pencegah dan pengobatan beberapa gangguan penyakit pada manusia (Garg *et al.*, 2016). Mekanisme senyawa fenol sebagai antifungi yaitu berinteraksi dengan dinding sel fungi, dimana pada kadar yang rendah akan mendenaturasi protein dan pada kadar yang tinggi akan menyebabkan koagulasi protein sehingga sel akan mati (Lidyawita *et al.*, 2013).

Fenol dapat mendenaturasi ikatan protein pada membran sel sehingga membran sel itu menjadi lisis dan fenol menembus ke dalam inti sel, makin tinggi fenol teroksidasi maka akan semakin tinggi aktivitas penghambatannya (Aboh *et al.*, 2014; Negri *et al.*, 2014). Dibuktikan dalam penelitian Dewi *et al.*, (2019) Daun kesum mengandung senyawa antifungi, yang terlihat dari aktivitas ekstrak etanolnya terhadap *Trichophyton rubrum* dengan metode *in vitro*. Dilihat dari hasil konsentrasi 40% dan 80% yang memiliki kategori penghambat jamur sangat kuat, karena senyawa fenol dapat menyebabkan kerusakan pada mitokondria jamur.

Pada penelitian Pulungan (2017), menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak daun kunyit sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur *Candida albicans*,

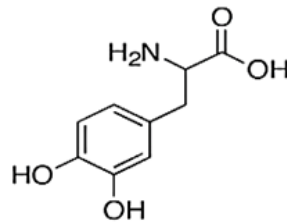
terutama pada pemberian konsentrasi tertinggi yaitu 50% dan 60% dan termasuk kategori sangat kuat untuk menghambat pertumbuhan jamur *C. albicans*. Diduga karena adanya senyawa metabolit sekunder yaitu senyawa fenol. Fenol dapat merusak membran sel sehingga terjadi perubahan permeabilitas sel yang dapat mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan sel atau matinya sel jamur (Shahzad *et al.*, 2014).

Senyawa Alkaloid

Alkaloid adalah suatu golongan senyawa organik yang terbanyak ditemukan di alam. Alkaloid dapat ditemukan dalam berbagai bagian tumbuhan antara lain biji, daun, ranting dan kulit kayu. Alkaloid umumnya ditemukan dalam kadar yang kecil dan harus dipisahkan dari campuran senyawa yang rumit yang berasal dari jaringan tumbuhan (Ningrum *et al.*, 2016). Hampir semua alkaloid yang ditemukan di alam mempunyai keaktifan fisiologis tertentu. Ada yang bersifat racun tetapi ada juga yang sangat berguna sebagai obat (Ting *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014). Semua alkaloid mengandung paling sedikit sebuah atom nitrogen yang biasanya bersifat basa. Alkaloid berasal dari beberapa asam amino yang dibedakan atas alkaloid alisiklik berasal dari asam amino ornitin dan lisin, alkaloid aromatik berasal dari fenilalanin dan tirosin, dan alkaloid aromatik jenis indol berasal dari triptofan (Dalimunthe & Rachmawan, 2017).

Alkaloid berperan dalam metabolisme dan mengendalikan perkembangan dalam sistem kehidupan tumbuhan. Sebagian besar alkaloid berasal dari tanaman, khususnya dari kelompok angiospermae, dengan lebih dari 20% dari spesies angiospermae diketahui mengandung alkaloid (Wink, 2008; Gusmiarni *et al.*, 2021). Alkaloid biasanya berwujud padat seperti kristal, namun beberapa alkaloid dapat berwujud cair pada suhu ruang seperti nikotin. Senyawa ini memiliki rasa yang pahit serta bentuk garam yang dapat larut dalam air dan pelarut organik dalam bentuk bebas atau basa (Harborne, 1997).

Alkaloid mempunyai struktur kimia berupa lingkaran heterosiklik dengan nitrogen sebagai hetero atomnya. Unsur-unsur penyusun alkaloid adalah karbon, nitrogen, dan oksigen. Namun terdapat beberapa alkaloid yang tidak mengandung oksigen. Adanya nitrogen pada struktur kimia alkaloid menyebabkan alkaloid bersifat alkali (Sumardjo, 2009). Secara umum alkaloid dapat digolongkan berdasarkan strukturnya menjadi alkaloid heterosiklik dan alkaloid non heterosiklik. Atom N pada alkaloid non heterosiklik dapat berupa atom N primer (meskalin), sekunder (efedrin), tersier (atropin) dan kuartener (tubokurarin). Sedangkan alkaloid heterosiklik dapat diklasifikasikan lagi berdasarkan struktur cincin yang dimilikinya yakni pirol atau pirolidin (higrin), pirolizidin (seneklonin), piridin dan piperidin (piperin dan lobelin), tropan (kokain), kuinolin (kuinin dan kuinidin), aporfin (boldin), kuinolizidin (spartein), indol atau benzopirol (ergometrin), indilizidin (swainsonin), imidazol (pilocarpin), purin (kafein), steroidal (solanidin), dan terpenoid (akonitin) (Cahyan, 2012).



Gambar 2. Struktur umum alkaloid (Luringunusa *et al.*, 2023)

Menurut Mustikasari dan Ariyani (2010), senyawa alkaloid memiliki aktivitas sebagai antimikroba dengan merusak dinding sel mikroba. Ini dibuktikan dalam penelitian Ningsih *et al.*, (2017) bahwa ekstrak metanol pada daun mangga dapat menghambat pertumbuhan *C. albicans* karena ekstrak tersebut mengandung senyawa alkaloid yang berperan sebagai zat antifungi, sedangkan *C. albicans* merupakan salah satu jamur patogen pada manusia.

Dalam proses skrining ekstrak daun jengkol, terbentuklah endapan dari senyawa alkaloid yang efektif dalam menghambat pertumbuhan berbagai jamur patogen yang menyebabkan penyakit pada tanaman. Dalam pengaplikasian serta uji coba pada penelitian ini membuktikan bahwa ekstrak kulit jengkol pada konsentrasi 20% mampu menekan pertumbuhan koloni *Colletotrichum capsici* dan konsentrasi 90% sangat kuat dalam menekan pertumbuhan koloni jamur *Fusarium oxysporum* (Siswandi, 2019).

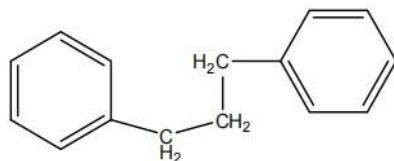
Senyawa Flavonoid

Flavonoid adalah senyawa metabolit sekunder yang termasuk dalam kelompok senyawa fenol yang struktur benzenanya tersubstitusi dengan gugus OH. Senyawa ini merupakan senyawa terbesar yang ditemukan di alam dan terkandung baik di akar, kayu, kulit, daun, batang, buah, maupun bunga dan berfungsi sebagai antibakteri, antioksidan, antiinflamasi, antivirus, dan antifungi (Putri, 2015; Ningsih, 2023). Flavonoid adalah senyawa kimia yang berasal dari 2-phenyl-benzyl- γ -pyrone yang disintesis melalui jalur fenilpropanoid (Mierziak *et al.*, 2014). Senyawa ini ditemukan pada seluruh jaringan tumbuhan yang memiliki pigmen merah, biru, dan ungu (Strygina & Khlestkina, 2019).

Flavonoid mempunyai kerangka dasar karbon yang terdiri dari 15 atom karbon. Dimana dua cincin benzena (C6) terikat oleh rantai propana (C3) (Noer *et al.*, 2018). Flavonoid yang terdiri dari flavon dan flavonol mengandung jumlah senyawa yang paling besar. Terdapat beberapa subkelas flavonoid diantaranya flavanon, flavon, antochyanidin, isoflavon, dan flavonol. Subkelas dari flavonoid terbagi berdasarkan persamaan sifat-sifat strukturalnya (Tian-Yang *et al.*, 2018). Senyawa flavonoid bersifat mudah teroksidasi pada suhu tinggi dan tidak tahan panas (Rompas, 2012).

Flavonoid memiliki beragam keuntungan efek biokimia dan antioksidan serta memiliki kecenderungan untuk mengikat protein, sehingga mengganggu proses metabolisme jamur (Lee *et al.*, 2009; Dalimunthe *et al.*, 2016). Di alam bebas, senyawa flavonoid dapat diekstraksi dari berbagai jenis tanaman. Flavonoid digunakan oleh

tanaman tidak hanya untuk mendukung pertumbuhan mereka, tetapi juga sebagai mekanisme pertahanan terhadap penyakit. Pencegahan penyakit tersebut terjadi karena senyawa fenolik yang memiliki kemampuan menghambat sintesis dinding sel jamur (Havsteen, 2002; Chatri *et al.*, 2022).



Gambar 3. Struktur dasar flavonoid (Noer *et al.*, 2018)

Flavonoid sebagai antifungi bekerja dengan menghambat pertumbuhan konidia jamur pathogen, karena flavonoid tersebut bersifat lipofilik yang dapat merusak membran mikroba (Chatri *et al.*, 2022). Senyawa flavonoid memiliki senyawa genistein yang berfungsi sebagai penghambat pembelahan atau proliferasi sel jamur dengan cara menembus sel dinding jamur menuju membran sel. Fenolik pada flavonoid juga dapat merusak sel sitoplasma dan menyebabkan kebocoran inti sel jamur (Kartika, *et al.*, 2022).

Senyawa flavonoid terbukti sebagai antifungi pada hasil penelitian Putri *et al.*, (2019), buah pare mengandung senyawa flavonoid yang mampu menghambat pertumbuhan jamur *F. oxysporum*, hal ini ditunjukkan dengan adanya penghambatan jamur melalui zona bening yang dihasilkan di sekitar kertas cakram. Terbentuknya zona hambat ini dikarenakan adanya aktivitas antifungi ekstrak buah pare dengan konsentrasi 60%, 70%, 80%, 90% serta 100% dan semakin tinggi konsentrasi dari ekstrak tersebut, maka semakin besar zona bening yang dihasilkan. menurut Febriana (2014), bahwa pare memiliki senyawa metabolit sekunder salah satunya yaitu senyawa flavonoid yang memiliki kemampuan sebagai antifungi salah satunya pada jamur *C. albicans*.

Dalam penelitian Dewi *et al.*, (2019) pengujian aktivitas antifungi menggunakan ekstrak daun kesum pada konsentrasi 40% dan 80%, ditemukan bahwa ekstrak etanol dari daun kesum efektif menghambat pertumbuhan jamur *T. rubrum*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai rerata diameter zona hambat sebesar 21 mm, yang masuk dalam kategori sebagai antifungi sangat kuat.

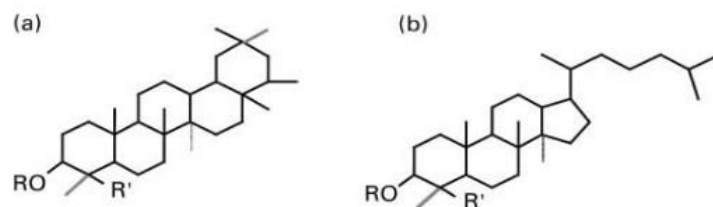
Senyawa Saponin

Saponin adalah jenis glikosida yang banyak ditemukan dalam tumbuhan. Saponin merupakan golongan senyawa alam yang rumit dan mempunyai massa molekul besar terdiri dari aglikon baik steroid atau triterpenoid dengan satu atau lebih rantai gula/glikosida dan berdasarkan atas sifat kimiawinya, saponin dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu: steroid dengan 27 atom C dan triterpenoids dengan 30 atom C (Bogoriani, 2008). Untuk mendapatkan senyawa saponin maka perlu dilakukan pemisahan suatu zat (ekstraksi). Ekstraksi merupakan peristiwa

pemindahan zat terlarut (*system*) antara dua pelarut yang tidak saling bercampur (Suleman *et al.*, 2022).

Saponin berasal dari kata latin *sapo* yang berarti sabun. Saponin memiliki diversifikasi struktur yang luas dan senyawa-senyawa saponin tertentu dengan sifat surfaktan yang dapat menyebabkan lisis pada dinding sel makhluk hidup (Cheeke, 2000). Saponin mempunyai efek antibakteri dan antifungi. Efek ini mengakibatkan jamur terganggu karena adanya gugus monosakarida dan turunan saponin dapat berfungsi sebagai deterjen dan mengganggu stabilitas membran sel pada jamur (Bayuaji *et al.*, 2012).

Saponin merupakan senyawa sekunder yang ditemukan pada banyak tanaman di bagian akar, kulit, daun, biji, dan buah yang berfungsi sebagai sistem pertahanan. Keberadaan saponin dapat dicirikan dengan adanya rasa pahit, pembentukan busa (Francis *et al.*, 2002). Berbagai jenis tumbuhan kaya akan saponin telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional, sebab saponin memiliki senyawa glikosida yang melimpah di tumbuhan tingkat tinggi (Wink, 2015; Yanuartono, 2017).



Gambar 4. Struktur kimia saponin a) Triterpenoid; b) Steroid (Francis *et al.*, 2002)

Saponin dapat menjadi antifungi karena zat aktif permukaannya mirip detergen, dengan cara menurunkan tegangan permukaan membran sterol dari dinding sel jamur sehingga meningkatkan permeabilitasnya (Chatri *et al.*, 2022). Berdasarkan informasi tersebut, beberapa studi telah membuktikan efektivitas saponin sebagai senyawa antifungi. Dalam hasil penelitian yang dilakukan oleh Komala *et al.*, (2019) menunjukkan bahwa ekstrak daun pacar kuku pada konsentrasi etanol 50% dan 96% memiliki aktivitas antifungi terhadap jamur *Trichophyton mentagrophytes* dan menghasilkan daerah hambat sebesar 9,88 mm. Penyebab terbentuknya zona bening di sekeliling cakram tersebut, karena pacar kuku mengandung senyawa metabolit. Selain itu, pada penelitian Primayani dan Chatri (2018) membuktikan bahwa ekstrak daun *Hyptis suaveolens* L. dapat menghambat pertumbuhan jamur *Sclerotium rolfsii* dengan konsentrasi paling efektif yaitu 15% dengan persentase penghambatan 56%. Daun *Hyptis suaveolens* L. mengandung senyawa steroid yang artinya daun tersebut dapat dimanfaatkan sebagai antifungi (Ruma *et al.*, 2021).

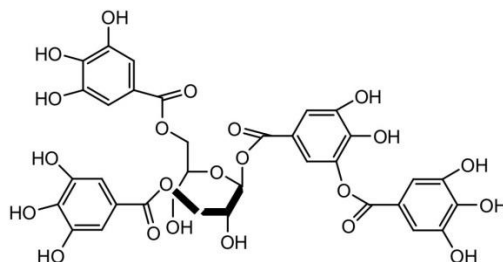
Senyawa Tanin

Tanin adalah senyawa kimia yang termasuk dalam kelompok polifenol dan dapat bereaksi dengan besi untuk menghasilkan warna gelap (Ghamba *et*

al., 2014; Nurjannati *et al.*, 2018). Tanin secara alami dapat larut dalam air dan memberi warna yang bervariasi dari terang sampai merah tua atau cokelat, karena setiap turunan tanin mempunyai warna yang berbeda, tergantung sumbernya (Ahadi *et al.*, 2015). Tanin dapat ditemukan hampir di seluruh bagian tanaman seperti pada daun, batang, kulit kayu dan juga buah (Dur, 2013).

Struktur senyawa tanin terdiri dari cincin benzena (C6) yang berikatan dengan gugus hidroksil (-OH). Tanin memiliki peranan biologis yang besar karena fungsinya sebagai pengendap protein dan pengkelat logam (Noer *et al.*, 2018). Tanin terbagi atas dua jenis, yaitu tanin terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Pada tanaman, jumlah tanin terkondensasi lebih dominan dari pada tanin terhidrolisis. (Kraus *et al.*, 2003).

Tanin terhidrolisis merupakan jenis tanin yang dapat dihidrolisis oleh enzim menjadi asam galat dan asam elagit. Jenis tanin ini ditemukan dalam jumlah yang lebih sedikit dan contoh dari tanin terhidrolisis adalah gallotanin (Julianto, 2019; Lisan, 2015). Sedangkan jenis tanin terkondensasi merupakan reaksi hidrolisis dan biasanya berasal dari senyawa flavonoid, katekin, dan flavan-3,4-diol. Ketika ditambahkan asam atau enzim, senyawa tanin ini akan terurai menjadi plobapen (Julianto, 2019). Dan jumlah tanin terkondensasi lebih banyak daripada tanin terhidrolisis karena tanin terhidrolisis bersifat lebih beracun (Fathurrahman & Ida, 2018).



Gambar 5. Struktur dasar tanin (Noer *et al.*, 2018)

Senyawa tanin berfungsi sebagai pelindung diri dari serangan hewan pemakan tumbuhan dan sebagai antibakteri (Sarifudin *et al.*, 2018; Pratiwi, 2016). Fungsi lainnya dari senyawa tanin yaitu sebagai pertahanan terhadap jamur, dengan mekanisme kerja sebagai antifungi yang menghambat biosintesis ergosterol. Ergosterol adalah sterol utama yang diproduksi oleh fungi, berperan sebagai komponen dari dinding sel jamur (Hong *et al.*, 2011).

Potensi senyawa tanin sebagai antifungi terbukti dalam penelitian Simanjuntak & Butar-butur (2019), bahwa ekstrak umbi bawang merah dapat dijadikan sebagai senyawa antifungi, karena ekstrak umbi bawang merah tersebut bersifat plasmolitik dan dapat mengganggu aktivitas hidup jamur *C. albicans* dan *Pityrosporum ovale*. Penelitian lainnya yaitu penelitian Sanjaya *et al.*, (2021) & Ali *et al.*, (2018), menunjukkan bahwa senyawa tanin pada daun cengkokodok (*melastoma malabathricum*) dapat mengganggu membran sitoplasma, mengganggu PMF (*Proton*

Motive Force), transpor aktif, dan aliran elektron untuk mengganggu pembuatan ATP pada jamur *Malassezia furfur* dan tanin juga mengkoagulasi substansi sel jamur tersebut.

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis dan literatur dapat disimpulkan bahwa: Metabolit sekunder merupakan senyawa metabolit yang terdapat pada berbagai jenis tanaman, khususnya bagian seperti daun, batang, kulit kayu, buah, atau tanaman tingkat tinggi lainnya. Metabolit sekunder memiliki berbagai fungsi, salah satunya sebagai senyawa antifungi. Senyawa yang termasuk kedalam metabolit sekunder meliputi fenol, alkaloid, flavonoid, saponin, dan tanin. Mekanisme kerja dari senyawa metabolit sekunder melibatkan serangkaian proses biokimia dan fisiologis yang kompleks dan variatif tergantung pada jenis senyawanya. Salah satu kegunaan metabolit sekunder sebagai antifungi dapat dijadikan sebagai senyawa kimia yang dikembangkan menjadi obat-obatan antijamur, atau sebagai fungisida alami yang melindungi tanaman dari serangan patogen jamur penyebab penyakit. Metabolit sekunder sangat penting, terutama dalam mendukung kemajuan di bidang farmasi dan pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboh, M., Olayinka, B. O., Adeshina, G. O., dan Oladosu, P. (2014). Antifungal Activities of Phyto Compounds from *Mitracarpus villosus* (Sw.) DC from Abuja, Nigeria. *J. Microbiol Res*, 4(2): 86–91.
- Ahadi, A., Firmasyah, M. A., Soekarno, B. P. W., dan Wirtarto. (2015). Effect of Tannin to Control Leaf Blight Disease on *Toona sureni* caused By To Isolate of *Rhizotonia* sp. *Journal Pathology*, 14(3): 148-152.
- Ali, S., Khan, M. R., Irfanullah., Sajid, M., dan Zahra, Z. (2018). Phytochemical Investigation and Antimicrobial Appraisal of Parrotiopsis Jacquemontiana (Decne) Rehder. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1): 1-15.
- Balasundram, N., Sundram, K., and Samman, S. (2006). Phenolic Compounds in Plants and Agri-Industrial By-Products: Antioxidant Activity, Occurrence, and Potential Uses. *Food Chemistry*, 99(1): 191-203.
- Baud, G. S., Sangi., M. S., dan Koleangan, H. S. J. (2014). Analisis Senyawa Metabolit Sekunder dan Uji Toksisitas Ekstrak Etanol Batang Tanaman Patah Tulang (*Euphorbia tirucalli* L.) dengan Metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT). *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(2): 106-112.
- Bayuaji, T. S., Astuti, I. Y., dan Dhiani, B. A. (2012). Aktivitas Antifungi Krim Daun Ketepeng Cina (*Senna alata* L. Roxb.) terhadap *Trichophyton mentagrophytes* Pharmacy. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 9(3) : 56-64.
- Bogoriani, W. (2008). Isolasi dan Identifikasi Glikosida Steroid dari Daun Andong (*Cordyline terminalis* Kunth.). *Jurnal Kimia*, 2(1): 40-44.

- Cahyan, F. R. (2012). Isolasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Antioksidan Senyawa Alkaloid dari Kulit Batang *Phoebe declinata* Nees. *Skripsi*. FMIPA: Universitas Indonesia.
- Cavoski, I., Caboni, P., and Miano, T. (2011). Natural Pesticides and Future Perspectives. In *Margarita stoytcheva* (Eds.), *Pesticides in The Modern World Pesticides Use and Management*. Rijeka: InTech Europe.
- Chatri, M., Junjundang., Aini, Z., dan Suryendra, F. D. (2022). Aktivitas Antifungi Ekstrak Daun *Melastoma malabathricum* terhadap *Fusarium oxysporum* dan *Sclerotium rolfsii* secara *In Vitro*. *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(3): 395-401.
- Cheeke, P. R. (2000). Actual and Potential Applications of Yucca Schidigera and Quillaja Saponaria Saponins in Human and Animal Nutrition. *J. Anim*, 77: 1-10.
- Dalimunthe, C. I., dan Rachmawan, A. (2017). Prospek Pemanfaatan Metabolit Sekunder Tumbuhan sebagai Pestisida Nabati untuk pengendalian Patogen pada Tanaman Karet. *Warta Perkaratan*, 36(1): 15-28.
- Dalimunthe, C. I., Sembiring, Y. R. V., Andriyanto, M., Siregar, T. H. S., Darwis, H. S., dan Barus, D. A. (2016). Identifikasi dan Uji Metabolit Sekunder Bangun-bangun (*Coleus amboinicus*) terhadap Penyakit Jamur Akar Putih (*Rigidoporus Microporus*) di Laboratorium. Indonesian. *Journal of Natural Rubber Research*, 34(2): 189 – 200.
- Dewi, S., Assegaf, S. NYRS., Natalia, D., dan Mahyarudin. (2019). Efek Ekstrak Etanol Daun Kesum (*Polygonum minus* Huds.) sebagai Antifungi terhadap *Trichophyton rubrum*. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 8(2): 198-203.
- Dur, S. 2013. Pembuatan Tanin dari Buah Pinang. Medan: UIN Sumatera Utara.
- Ergina, E., Nuryanti, S., dan Pursitasari, P. I. (2014). Uji Kualitatif Senyawa Metabolit Sekunder pada Daun Palado (*Agave angustifolia*) yang Diekstraksi dengan Pelarut Air dan Etanol. *Jurnal Akademika Kimia*, 3(3), 165–172.
- Fathurrahman, N. R., dan Ida, M. (2018). Artikel Tinjauan: Teknik Analisis Instrumen Senyawa Tanin. *Farmaka*, 16(2): 449-456.
- Febriani, T. H. (2014). Uji Daya Antifungi Jus Buah Pare (*Momordica charantia* L.) terhadap Daya Hambat Pertumbuhan *Candida albicans* secara *In Vitro*. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Francis, G., Z. Kerem, H. P. S., Makkar, K., and Becker. (2002). The Biological Action of Saponins in Animal System: a Review. *J. Nurt*, 88: 587-605.
- Garg, N., Abdel-Aziz, S. M., dan Aeron, A. (2016). *Microbes in Food and Health*. Springer. Switzerland 42-45.
- Ghamba, P. E., Balla., Goje, L. J., Halidu, A., and Dauda, M. D. (2014). *In Vitro* Antimicrobial Activities of *Vernonia amygdalina* on Selected Clinical Isolate. *IJCMAS*, 3(4): 1103-1113.
- Gunawan, T., Chikmawati, S., dan Sulistijorini. 2016. Review: Fitokimia Genus *Baccaurea* spp. *Bioeksperimen*, 2(2): 96-110.
- Gusmiarni, A. N., Chatri, M., dan M, Des. (2021). Efektivitas Antijamur Ekstrak Daun *Hyptis suaveolens* (L.) Poit terhadap Koloni *Fusarium oxysporum*. *In Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 1(2) : 1619-1624.
- Haminiuk, C., Maciel, G., Plato-Oviedo, M., and Peralta, R. (2012). Phenolic Compounds in Fruits-an Overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(10): 2023-2044.
- Harborne, J. B. (1997). *Phytochemical Methods*. Terjemahkan. Bandung: Penerbit ITB.
- Havsteen, B. (2002). The Biochemistry and Medical Significance of The Flavonoids. *Pharmacol Ther*, 96: 67–202.

- Hong, L. S., Darah, I., and Jain, K. (2011). Gallic Acid: an Anticandidal Compound in Hydrolysable Tannin Extracted From the Barks of *Rhizophora apiculata* Blume. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(6): 75–79.
- Julianto, T. S. (2019). *Fitokimia Tinjauan Metabolit Sekunder dan Skrining Fitokimia*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Kartika, P. S., Advinda, L., Anhar, A., dan Chatri, M. (2022). Potential of Red Shoot Leaf Extract (*Syzygium oleina*) as an Antifungi Against The Growth of *Sclerotium rolfsii* in vitro. *Serambi Biologi*, 7(2) : 164.
- Komala, O., Yulianita., dan Siwi, F. R. (2019). Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol 50% dan Etanol 96% Daun Pacar Kuku *Lawsonia inermis* L. terhadap *Trichophyton mentagrophytes*. *Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 19(1): 12-19.
- Kraus, T. E. C., Randy A. D., and Robert J. Z. (2003). Tannins in Nutrient Dynamics of Forest Ecosystems a review. *Plant and Soil*, 256(1): 41-66.
- Lai, Y. H., dan Lim, Y. Y. (2011). Evaluation of Antioxcidant Activities of the Methanolic Extract of Selected Ferns in Malaysia. IPCBEE 20.
- Lee, S.T., Welch, K. D., Panter, K. E., Gardner, D. R., Garrossian, M., and Chang, C.T. (2014). Cyclopamine: From *Cyclops lambs* to Cancer Treatment. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 62(30): 7355-7362.
- Lee, Y., Yuk, D., and Lee, J. (2009). Epigallocatechin-3-Gallate Prevents Lipopolysaccharide-Induced Elevation of B-Amyloid Generation and Memory Deficiency. *Brain Res*, 1250: 164–171.
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., and Wu, H. (2020). The Developmental Environmental Secondary Metabolites in Medicinal Plants. *Plants Physiology and Biochemistry*, 148(1): 80-89.
- Lidyawita, R., Sudarsono., dan Harsini. (2013). Antifungal Activities of Boiled Cashew Bark (*Anacardium occidentale* L.) on *Candida albicans* In Acrylic Resin. *Trad. Med. J*, 18(1): 46-52.
- Lisan, F. R. (2015). Penentuan Jenis Tanin secara Kualitatif dan Penetapan Kadar Tanin dari Serabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.) secara Permanganometri. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*, 4(1): 1-16.
- Luringunusa, E., Sanger, G., Sumilat, D. A., Montolalu, R. I., Damongilala, L. J., dan Dotulong, V. (2023). Qualitative Phytochemical Analysis of *Gracilaria verrucosa* From North Sulawesi Waters. *Jurnal Ilmiah Platax*, 11(2): 451-463.
- Mahardani, O. T., dan Yuanita, L. (2021). Efek Metode Pengolahan dan Penyimpanan terhadap Kadar Senyawa Fenolik dan Antioksidan. *UNESA Journal of Chemistry*, 10(1): 64-78.
- Mamari, H. A. (2021). *Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis*. Muscat: Sultan Qaboos University.
- Mastuti, R. (2016). *Metabolit Sekunder dan Pertahanan Tumbuhan*. Universitas Brawijaya: Jurusan Biologi.
- Mierziak, J., Kostyn, K., and Kulma, A. (2014). Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions With The Environment. *Mol. Basel Switz*, 19: 16240–16265.
- Mustikasari, K., dan Ariyani, D. (2010). Skrining Fitokimia Ekstrak Metanol Biji Kalangkala (*Litsea angulata*). *Sains dan Terapan Kimia*, 4(2): 131-136.
- Negri, M., Salci, T. P., Shinobu-Mesquita, C. S., Capoci, I. R. G., Svidzinski, T. I. E., Kioshima, E. S. (2014). Early State Research on Antifungal Natural Products. *J. Molecules*, 19: 2925–2956.

- Ningrum, R., Elly, P., dan Sukarsono. (2016). Alkaloid Compound Identification of *Rhodomyrtus tomentosa* Stem as Biology Instructional Material for Senior High School X Grade. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 2(3) : 231-236.
- Ningsih, A. W., Hanifa, I., dan Hisbiyah, A. (2020). Pengaruh Perbedaan Metode Ekstraksi Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) terhadap Rendeman dan Skrining Fitokimia. *J. Pham*, 2(2): 96-104.
- Ningsih, D. R., Zufahair., dan Mantari, D. (2017). Ekstrak Daun Mangga (*Mangifera indica* L.) sebagai Antijamur terhadap Jamur *Candida albicans* dan Identifikasi Golongan Senyawanya. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1): 61-68.
- Ningsih, I. S., Chatri, M., dan Advinda, L., dan Violita. (2023). Senyawa Aktif Flavonoid yang Terdapat pada Tumbuhan. *Serambi Biologi*, 8(2): 126-132.
- Noer, S., Rosa, D. P., dan Efri, G. (2018). Penetapan Kadar Senyawa Fitokimia (Tanin, Saponin dan Flavonoid sebagai Kuersetin pada Ekstrak Daun Inggu (*Ruta angustifolia* L.). *Jurnal EKSATA*.
- Nofiani, R. (2008). Artikel Ulas Balik: Urgensi dan Mekanisme Biosintesis Metabolit Sekunder Mikroba Laut. *Jurnal Natur Indonesia*, 10(2): 120-125.
- Nurjannati, M., Winarsi, H., dan Dwiyaniti, H. (2018). Efek Lama Perkecambah terhadap Sifat Sensori dari Kadar Protein Terlarut Susu Kecambah Kacang Merah (Sukarah) untuk Remaja Obesitas. *J. Gipas*, 2(2): 27-42.
- Pratiwi, R. D. (2016). Uji Kualitatif Fitokimia Daun *Ruta angustifolia*. *Faktor Exacta*, 9(3): 200-206.
- Primayani, S. A. dan Chatri, M. (2018). Efektivitas Ekstrak *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Sclerotium rolfsii* secara *In Vitro*. *Jurnal Bio Sains*, 1(1): 59-66.
- Pulungan, A. S. (2017). Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol Daun Kunyit (*Curcuma longan* Linn.) terhadap Jamur *Candida albicans*. *Jurnal BioLink*, 3(2): 120-124.
- Putri, D. R., Asri, M. T., dan Ratnasari, E. (2019). Antifungi Ekstrak Buah Pare (*Momordica charantia* L.) dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Fusarium oxysporum*. *LenteraBio*, 8(2): 156-161.
- Putri, S. A. (2015). Isolasi Senyawa Metabolit Sekunder dari Kulit Batang *Garcinia balica*. *Skripsi*. Surabaya: Institusi Teknologi Sepuluh November.
- Rompas, R. H. (2012). Isolasi dan Identifikasi Flavonoid dalam Daun Lamun (*Sringodium isoetifolium*). *Pharmacon*, 1(2): 59–62.
- Ruma, M. T. L., Mauboy, R. S., Karyawati, A. T., dan Damanik, D. E. R. (2021). Analisis Senyawa Metabolit Sekunder Batang Gringsingan (*Hyptis suaveolens* L. Poit.) Asal Kota Kupang. *Jurnal Biotropikal Sains*, 18(3): 18-27.
- Sanjaya, W., Rialita, A., dan Mahyarudin, M. (2021). Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol Daun Cengkok (*Melastoma malabathricum*) terhadap Pertumbuhan *Malassezia furfur*. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 8(1): 23-32.
- Sarifudin, A., Wardatun, S., dan Wiendarlina. (2018). Kajian Metode Pengeringan dan Metode Analisis Daun Belimbing Wuluh (*Avverrhoa bilimbi* L.) terhadap Kadar Tanin. *Jurnal Online Mahasiswa Bidang Farmasi*, 1(1): 1-9.
- Shahzad, M., Sherry, L., Rajendran, R., Edwards, C. A., Combet, E., dan Ramage, G. (2014). Utilising Polyphenols for The Clinical Management of *Candida albicans* Biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 44(3), 269-273.

- Simanjuntak, H. A., dan Butar-butur, M. (2019). Uji Aktivitas Antifungi Ekstrak Etanol Umbi Bawang Merah (*Allium cepa* L.) terhadap *Candida albicans* dan *Pytorosporum ovale*. *EKSAKTA: Jurnal Penelitian dan Pembelajaran MIPA*, 4(2): 79-134.
- Singh, J.P., Kaur, A., Shevkani, K., and 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.
- Siswandi. (2019). Uji Efektivitas Ekstrak Kulit Jengkol (*Pithecellobium jiringa*) sebagai Biofungisida terhadap Penyebab Penyakit Layu Fusarium (*Fusarium oxysporum*) , Antraknosa (*Colletotrichum capsici*) dan Bercak Daun (*Cercospora capsici*) pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) secara *In Vitro*. *Skripsi*. Medan: Fakultas Pertanian.
- Strygina, K. V., and Khlestkina, E. K. (2019). Structural and Functional Divergence of The Mpc1 Genes in Wheat and Barley. *BMC Evolutionary Biology*, 19(1): 90.
- Suleman, I. F., Rieny S., Shindy, H. M., and Wila, R. N. (2022). Identifikasi Senyawa Saponin dan Antioksidan Ekstrak Daun Lamun (*Thalassia hemprichii*). *Jambura Fish Processing Journal*, 4(2): 94-102.
- Sumardjo, D. (2009). *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksata. 1st edition*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Tian-Yang., Wang., Qing Li., and Kai-shun, Bi. (2018). Bioactive Flavonoids in Medicinal Plants: Structure, Activity and Biological Fateasian. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13: 12–23.
- Ting, Z., Chang-Hong, W., and Zheng-Tao, W. (2010). Chemical Constituents and Pharmacological Actions of Genus Peganum: Research Advences. *Journal of International Pharmaceutical Research*, 37(5): 333.
- Wink, M. (2008). *Ecological Roles of Alkaloids. Modern Alkaloids, Structure, Isolation Synthesis and Biology*. Jerman: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Wink, M. (2015). Review: Modes of Action of Herbal Medicines and Plant Secondary Metabolites. *Medicines*, 2: 251-286.
- Yanuartono, H., Purnamaningsih, A., Nururrozi., dan Indarjulianto, S. (2017). Saponin: Dampak terhadap Ternak. *Jurnal Peternakan Sriwijaya*, 6(2): 79-90.