

Toksisitas Makrofungi Beracun dari Divisi Basidiomycota

(Toxicity of a Poisonous Macrofungi of Basidiomycota Division)

Ayu Hafsari Kaplale*, Marhaenus J. Rumondor, Agustina Monalisa Tangapo

Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 95115, Indonesia

*Corresponding author: 17101102031@student.unsrat.ac.id

Abstrak

Mikotoksin merupakan salah satu toksin yang banyak menyebabkan keracunan makanan pada manusia. Makrofungi dari Divisi Basidiomycota merupakan salah satu sumber terjadinya keracunan akibat mikotoksin yang disebabkan banyaknya konsumsi makrofungi liar dan beberapa di antaranya diketahui mengandung senyawa toksin yang dapat membahayakan tubuh manusia maupun hewan yang mengkonsumsinya. Mikotoksin tersebut berasal dari beberapa famili berikut, di antaranya ialah Amanitaceae, Agaricaceae, Boletaceae, Bolbitiaceae, Cortinariaceae, Entolomataceae, Hygrophoropsidaceae, Inocybaceae, Omphalotaceae, Pluteaceae, Russulaceae, Strophariaceae dan Tricholomataceae.

Kata kunci: Makrofungi; Basidiomycota; Mikotoksin; Makrofungi beracun

Abstract

Mycotoxins are one of the toxins that cause food poisoning in humans. Macrofungi from the Basidiomycota division are one of the sources of poisoning due to mycotoxins caused by the large consumption of wild macrofungi and some of them are known to contain toxic compounds that can harm the human body and the animals that consume them. These mycotoxins come from the following families, including Amanitaceae, Agaricaceae, Boletaceae, Bolbitiaceae, Cortinariaceae, Entolomataceae, Hygrophoropsidaceae, Inocybaceae, Omphalotaceae, Pluteaceae, Russulaceae, Strophariaceae and Tricholomataceae.

Keywords: Macrofungi; Basidiomycota; Mycotoxin; Poisonous macrofungi

PENDAHULUAN

Fungi merupakan salah satu kingdom dengan tingkat keanekaragaman yang tinggi, diperkirakan terdapat 1,5 juta spesies yang tersebar di seluruh dunia (Hawksworth, 1991). Kelompok ini memiliki habitat berupa tempat yang lembab serta mengandung senyawa organik (Gandjar *et al.*, 2006). Dengan adanya kondisi lingkungan yang sangat mendukung untuk tumbuh membuat Indonesia memiliki bermacam-macam jenis fungi, diperkirakan terdapat 200.000 (13,3%) spesies baik yang dapat dikonsumsi maupun yang tidak dapat dikonsumsi (Rifai, 1995 dalam Gandjar *et al.*, 2006).

Fungi terdiri atas lima divisi, yaitu divisi Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota, Basidiomycota dan Deuteromycota. Dari kelima divisi tersebut, Basidiomycota merupakan divisi dengan spesies yang paling banyak digunakan untuk dikonsumsi secara langsung, baik sebagai bahan makanan maupun sebagai obat-obatan. Berdasarkan penampakkannya, fungi dikelompokkan ke dalam: (1) kapang (*mould* atau *mold*), yaitu mikrofungi yang memiliki bentuk seperti benang-benang; (2) khamir (*yeast*), yang merupakan organisme uniseluler yang banyak digunakan pada proses tradisional dan modern dalam produksi makanan, minuman, enzim, bahan kimia dan bahan farmasi; (3) jamur (*mushroom*), yaitu fungi yang dapat menghasilkan badan buah besar (makrofungi) (Gandjar *et al.*, 2006).

Makrofungi beracun banyak berasal dari divisi Basidiomycota. Makrofungi ini memiliki badan buah yang besar, serta bentuk dan warna yang hampir mirip pada beberapa spesies

makrofungi yang bisa dimakan, mengakibatkan banyak orang sering mengalami keracunan. Divisi Basidiomycota merupakan fungi yang sebagian besar berukuran besar (makroskopis) dan sebagian lainnya berukuran kecil (mikroskopis). Fungi ini melakukan reproduksi aseksual dengan cara membentuk spora di atas sel yang disebut basidium, sedangkan reproduksi seksualnya dilakukan dengan membentuk spora konidia. Ciri-ciri dari Basidiomycota berupa hifa yang bersekat, multiseluler, vegetatifnya memiliki satu inti haploid, memiliki basidiokarp, badan buah berbentuk seperti payung atau kuping, umumnya hidup saprofit, serta beberapa di antaranya dapat dikonsumsi dan beberapa lainnya beracun (Campbell, 2009; Saputri, 2017).

Banyaknya jenis makrofungi serta manfaatnya bagi manusia membuat banyak orang mulai membudidayakannya dan ada pula yang mengambilnya secara langsung dari alam untuk dikonsumsi, namun tidak jarang fungi tersebut masih sangat sulit untuk dibedakan antara makrofungi beracun dan yang dapat dikonsumsi sehingga sering kali menyebabkan terjadinya keracunan. Berdasarkan Putra (2020), diketahui bahwa selama 10 tahun terakhir (2010-2020), di Indonesia tercatat ada 76 kasus keracunan akibat mengonsumsi berbagai jenis makrofungi liar, dengan korban sebanyak 550 orang dan 9 di antaranya meninggal dunia. Dari 76 kasus keracunan tersebut, terdapat 7 kasus keracunan fungi dari genus *Inocybe* dengan total korban sebanyak 31 orang, serta 1 di antaranya meninggal dunia. Hal ini disebabkan oleh banyaknya masyarakat lokal yang sulit membedakan antara *Termitomyces* yang merupakan makrofungi edible dengan *Inocybe* yang non edibel, karena memiliki struktur morfologi yang sama.

Selain di Indonesia, kasus keracunan akibat mengonsumsi makrofungi juga banyak terjadi di berbagai negara, di antaranya Korea dengan 48 kasus keracunan makrofungi yang dilaporkan dari tahun 2006-2013 yang mengakibatkan 17 korban jiwa dengan *Amanita virosa*, *A. verna*, dan *A. subjunquillea* sebagai penyebab utama (Kang *et al.*, 2015). Di Italia bagian Utara, dengan mencocokkan data dari database pelayanan mikologi dengan informasi klinis yang diambil dari database rumah sakit mulai dari 1 Januari 1996 - 31 Desember 2016 yang dilakukan oleh Cervellin *et al.* (2017), ditemukan ada 408 kasus keracunan fungi yang mengakibatkan toksisitas gastrointestinal, serta tercatat 20 kasus di antaranya merupakan keracunan amatoxin (11 kasus akibat *A. phalloides* dan 9 kasus akibat *Lepiota brunneoincarnata*) yang menyebabkan kerusakan beberapa organ.

Studi literatur mengenai makrofungi beracun ini sangat penting untuk dilakukan agar toksisitas dari famili makrofungi Basidiomycota dapat diketahui. Hal ini dapat menjadi informasi yang sangat bermanfaat bagi masyarakat dalam mengonsumsi makrofungi.

TOKSISITAS MAKROFUNGSI BERACUN DARI DIVISI BASIDIOMYCOTA

Divisi Basidiomycota diketahui terdiri dari 16 kelas, 52 ordo, 177 famili, 1.589 genera dan 31.515 spesies (Kirk *et al.*, 2008). Divisi ini kebanyakan di antaranya memiliki badan buah, berwarna mencolok dan sebagian beracun, namun pada divisi ini belum diketahui jumlah total spesies yang beracun (Campbell, 2013).

Menurut Lin dan Wang (2004) dan Bagchi dan Swaroop (2016), toksin pada makrofungi dibagi ke dalam 7 kategori utama, yaitu Amatoxins (cyclopeptides), Orellanus (Cortinarius spesies), Gyromitrin (monomethylhydrazine), Muscarine, Ibotenic acid, Psilocybin dan Coprine (disulfiramlike). Selama penelusuran pustaka dilakukan, ditemukan ± 41 senyawa toksin yang terdapat pada 86 spesies makrofungi dari 13 famili yang berhasil dirangkum (Tabel 1).

Spesies makrofungi yang berasal dari famili yang sama cenderung memiliki kesamaan pada senyawa toksin yang dikandungnya, bahkan terdapat toksin yang identik dengan famili tertentu, seperti pada famili Amanitaceae yang hampir setiap spesiesnya mengandung

amatoxin dan phallatoxin namun dengan tingkat toksin yang berbeda-beda, Agaricaceae dengan gastrointestinal irritans, Cortinariaceae dengan orallanine, dan Inocybaceae dengan muscarine.

Sebagian besar spesies yang berada dalam famili Amanitaceae diketahui mengandung beberapa toksin, di antaranya amatoxin (α , β , dan γ amanitin) dan phallatoxin (phallacidin, phalloidin, phallisin dan Phalloin.). Amatoxin sendiri dibagi kedalam sepuluh karakter, yaitu α -amanitin, β -amanitin, γ -amanitin, ϵ -amanitin, amanin, amaninamide, amanullin, amanullinic acid, proammanullin, dan Θ -amanitin (Walton, 2018). Amatoxin merupakan toksin yang tahan terhadap panas dan enzimatis yang terdapat di saluran pencernaan mamalia, sehingga dapat melewati membran plasma dan dengan cepat terserap ke dalam aliran darah, oleh karena sifat ini pula amatoxin kemudian mulai dikembangkan untuk dimanfaatkan sebagai dasar untuk obat-obatan baru (Luo *et al.*, 2014).

Jenis toksin α -amanitin merupakan peptisida siklik yang terdiri atas delapan asam amino, jenis amatoxin ini merupakan jenis yang paling mematikan diantara jenis amatoxin lainnya, terdapat beberapa makrofungi yang terkenal dengan kandungan α -amanitin yang tinggi, yaitu *Amanita phalloides* (*death cap*), *A. virosa* dan *A. bigosporigea* (*the destroying angel*), selain itu α -amanitin juga ditemukan pada *Galerina marginata* dan *Conocybe filaris* (Alamgir, 2018). Phallatoxin terdiri atas tujuh senyawa (phalloidin, prophalloin, phalloin, phallisin, phallacidin, phallacin dan phallisacin), yang semuanya merupakan heptapeptides bisiklik (tujuh asam amino) yang diisolasi dari *A. phalloides* (Walton, 2018). Daftar makrofungi beracun dari divisi Basidiomycota beserta toksinnya, yang dikumpulkan dari jurnal-jurnal yang membahas tentang makrofungi beracun dan kasus-kasus keracunan yang terjadi akibat mengkonsumsi makrofungi beracun dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan literatur-literatur, diketahui bahwa presentase kandungan toksin yang terdapat pada tubuh buah fungi Amanitaceae tidaklah merata, terdapat beberapa bagian yang memiliki konsentrasi toksin spesifik lebih banyak daripada bagian lainnya. Seperti pada spesies *Amanita phalloides* yang mengandung toksin α , β , dan γ Amanitin, Phallacidin dan Phalloidin dengan konsentrasi yang berbeda-beda pada berbagai bagian dan yang tertinggi terdapat pada bagian lamellae, yaitu sebesar 3,39 mg/g untuk α -amanitin; 2,950 mg/g untuk β -amanitin; 0,66 mg/g untuk γ -amanitin; 2,06 mg/g untuk phallacidin; dan 1,38 mg/g untuk phalloidin (Tabel 2) (Kaya *et al.*, 2013). Hal yang sama juga terjadi pada *A. bisporigera*, yang diketahui memiliki konsentrasi toksin tertinggi pada pileus, yaitu α -amanitin sebesar 1,70 mg/g; phalloidin sebesar 11,98 mg/g; dan phallacidin sebesar 2,71 mg/g (Tabel 2) (McKnight *et al.*, 2010). Spesies lain yang pernah diuji konsentrasi toksinnya adalah *A. exitialis*, di mana terdapat amatoxin dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada bagian lamellae yaitu sebesar 2717,1 mg kg⁻¹ (Hu *et al.*, 2012).

Jenis *A. fuliginea* dan *A. exitialis* juga diketahui mengandung amatoxin yang dapat menyebabkan kerusakan hati akut pada manusia (Li *et al.*, 2018). Dari data konsentrasi toksin yang didapatkan pada berbagai spesies Amanitaceae, tidak dapat dipastikan spesies mana yang memiliki total kandungan toksin tertinggi karena data tersebut berasal dari berbagai jurnal penelitian yang berbeda dengan satuan serta metode penelitian yang digunakan juga tidak seragam.

Tabel 1. Daftar Jenis Makrofungi Beracun dari Divisi Basidiomycota

Famili	Genus	Spesies	Toksin	Referensi
Agaricaceae	Agaricus	<i>A. albolutescens</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>A. arvensis</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>A. placomyces</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>A. silvicola</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>A. hondensis</i>	Hidroquinone, Gastrointestinal irritans	Joval <i>et al.</i> , (1996); Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>A. xanthodermus</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
	Chlorophyllum	<i>Chlorophyllum molybdites</i>	Gastrointestinal irritans	Azeem <i>et al.</i> , (2020); Bagchi dan Swaroop (2016)
Lepiota	Lepiota	<i>brunneoincarnata</i>	Amatoxin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>L. cristata</i>	Amatoxin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>Amanita phalloides</i>	Amatoxin (α, β dan γ Amanitin), Phallatoxin (Phallacidin dan Phalloidin), Toxophallin, Dimethylarsinic acid, Arsenobetaine, Methylarsonic acid	Kaya <i>et al.</i> , (2013); Fiedziukiewicz (2013)
Amanitaceae	Amanita	<i>A. bisposigera</i>	α -amanitin, Phallacidin dan Phalloidin	McKnight <i>et al.</i> , (2010)
		<i>A. boudieri</i>	aminohexadienoic acid (AHDA)	Kirchmair <i>et al.</i> , 2012;
		<i>A. fuliginea</i>	Amatoxin	Li <i>et al.</i> , (2018)
		<i>A. exitialis</i>	Amatoxin	Hu <i>et al.</i> , (2012)
		<i>A. verna</i>	Amatoxin (α, β dan γ Amanitin), Phallatoxon (Phallacidin dan Phalloidin)	Azeem <i>et al.</i> , (2014); Yilmaz <i>et al.</i> , (2014)
		<i>A. muscaria</i>	Ibotenic acid, muscazone, muscarine, muscimol, 5-Methoxy-N,N-diisopropyltryptamine, Dimethylarsinic acid, Arsenobetaine,	Azeem <i>et al.</i> , (2020); Fiedziukiewicz (2013)

			Arsenocoline, Tetramethyl arsonium	
		<i>A. subjunquillea</i> var. <i>alba</i>	α -amanitin, β -amanitin, phalloidin, phallasin, phalloidin, phalloin	Chen <i>et al.</i> , (2003)
		<i>A. cf. pseudoporphyria</i>	α -amanitin, β -amanitin	Chen <i>et al.</i> , (2003)
		<i>A. ocreata</i>	α -amanitin, β -amanitin, phalloidin, phalloidin	Walton, (2018)
		<i>A. gymnopus</i>	α -amanitin	Chen <i>et al.</i> , (2003)
		<i>A. pantherina</i>	Ibotenic acid, muscimol, Stizolobic acid, Stilozobinic acid	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>A. rubescens</i>	Amatoxin dan Dimethylarsnic acid	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>A. smithiana</i>	aminohexadienoic acid (AHDA)	Apperley <i>et al.</i> , (2013); Kirchmair <i>et al.</i> , 2012
		<i>A. virosa</i>	Amatoxin, Phallotoxin dan Virotoxin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>A. suballiacea</i>	α -amanitin, β -amanitin, phalloidin, phalloidin	Walton (2018)
		<i>A. gemmata</i>	Ibotenic acid, muscimol	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>A. arocheae</i>	α -amanitin, phalloidin	Walton (2018)
		<i>A. cf. marmorata</i>	phalloidin, phalloidin	Walton (2018)
Boletaceae	Boletus	<i>B. satanas</i>	Lectin dan Bolesatine	Fiedziukiewicz (2013)
Bolbitiaceae	Conocybe	<i>Conocybe albipes</i>	Amatoxin dan Phallatoxin	Hong <i>et al.</i> , (2009)
		<i>C. filaris</i>	Amatoxin	Alamgir (2018)
Cortinariaceae	Cortinarius	<i>Cortinarius armilatus</i>	Orellanine	Shao <i>et al.</i> , (2016)
		<i>C. orellanus</i>	Orellanine, Cortinarin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>C. rubellus</i>	Orellanine	Shao <i>et al.</i> , (2016)
		<i>C. speciosissimus</i>	Cortinarin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>C. henrici</i>	Orellanine	Alamgir (2018)
		<i>C. rainerensis</i>	Orellanine	Alamgir (2018)
Entolomataceae	Entoloma	<i>Entoloma incanum</i>	Viroidin, Viroisin, Deoxoviroisin, Ala-viroidin, Ala-deoxoviroidin, Deoxoviroidin	Fiedziukiewicz (2013)

		<i>E. rhodopolium</i>	Dimethylarsinic acid	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>E. lividum</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>E. sinuatum</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>E. strictius</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
Hygrophoropsidaceae	Hygrophoropsis	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>	Pulvinic acid	Fiedziukiewicz (2013)
Inocybaceae	Inocybe	<i>Inocybe asterospora</i>	Muscarine	Azeem <i>et al.</i> , (2020)
		<i>I. bongardii</i>	Cortinarin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. erubescens</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. calospora</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. cincinnata</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. cookei</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. erubescens</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. fuscidula</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. geophylla</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. godeyi</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. hystrix</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. lilacina</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. napipes</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. maculata</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. napipes</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>I. sindonia</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
<i>I. rimosa</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)		
Omphalotaceae	Omphalotus	<i>Omphalotus illudens</i>	Illudosone hemiacetal, Isoomphadione, Illudiolone, Illudin (S, M, A, B, D, H, G, F), Isolludin (S, M), Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>O. olearius</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
Pluteaceae	Pluteus	<i>Pluteus salicinus</i>	Psilocybin, Psilocin	Saupe (2018)
Russulaceae	Lactarius	<i>Lactarius piperatus</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>L. torminosus</i>	Lacarorufin N,	Fiedziukiewicz (2013)

			Deoxydihydroketolactarorufin, Blenin A, 15-Hydroxyblenin	
	Russula	<i>Russula betularum</i>	Ergot-7-en-3-ol, Ergosta-7,22-dien-3-ol, Ergosta-5,7-dien-3-ol, Ergosterol	Fiedziukiewicz (2013)
Strophariaceae	Galerina	<i>Galerina autumnalis</i>	Amanitins (cyclopeptides)	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>G. marginata</i>	Amanitins (cyclopeptides)	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>G. venenata</i>	Amanitins (cyclopeptides)	Bagchi dan Swaroop (2016)
	Hebeloma	<i>Hebeloma crustuliniforme</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
	Psilocybe	<i>Psilocybe baeocytis</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>P. cyanescens</i>	Psilocybin, Psilocin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>P. cubensis</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>P. cyanescens</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>P. mexicana</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>P. semilanceata</i>	Psilocybin, Psilocin	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>P. semperviva</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>P. semilanceata</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)
	<i>P. silvatica</i>	Psilocybin, psilocin	Bagchi dan Swaroop (2016)	
Stropharia	<i>Stropharia aeruginosa</i>	Baeocytin	Fiedziukiewicz (2013)	
Tricholomataceae	Clitocybe	<i>Clitocybe dealbata</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>C. rivulosa</i>	Muscarine	Fiedziukiewicz (2013)
		<i>C. illudens</i>	Muscarine	Bagchi dan Swaroop (2016)
	Tricholoma	<i>Tricholoma pardinum</i>	Gastrointestinal irritans	Bagchi dan Swaroop (2016)
		<i>T. ustale</i>	Ustalic acid	Fiedziukiewicz (2013)

Keracunan yang disebabkan oleh spesies dalam genus *Amanita* dan *Galerina sulciceps* memiliki empat tahapan, tahap pertama merupakan tahap laten, tahap ini berlangsung sekitar 6-12 jam setelah konsumsi di mana tidak ada gejala yang akan muncul. Tahap kedua merupakan gastroenteritis yang ditandai dengan adanya onset akut berupa mual dan muntah, diare, sakit perut atau kelainan elektrolit dan dehidrasi, tahap ini akan berlangsung selama 12-24 jam. Tahap ketiga merupakan tahap pemulihan, pasien keracunan akan merasa lebih baik dalam 12-24 jam, kemudian akan memburuk pada tahap keempat, yang ditandai dengan peningkatan drastis pada transaminase hati (ALT, AST), yang menyebabkan gagal hati dan ginjal, serta kelelahan multi-organ. Jika tidak ditangani dengan baik, akan terjadi kematian pada 5-8 hari setelah mengonsumsi makrofungi beracun tersebut (Chen *et al.*, 2014). Konsentrasi mikotoksin dari beberapa spesies pada famili Amanitaceae yang berhasil dirangkum dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada penelitian Shao *et al.* (2016), menggunakan analisis HPLC dan LC-MSMS dengan *Cortinarius rubellus* sebagai kontrol positif makrofungi yang mengandung toksin orellanine diketahui bahwa spesies *C. armillatus* juga mengandung toksin orellanine, namun memiliki kandungan toksin yang lebih sedikit yaitu $130\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, yang mana kandungan toksin yang rendah tersebut tidak mampu menyebabkan toksik pada manusia maupun hewan muda yang sehat, tetapi memiliki kemungkinan besar untuk menyebabkan toksik pada pasien atau manusia yang sebelumnya pernah memiliki masalah ginjal. Selain itu, ditemukan juga penelitian lain yang meneliti tentang jamur nefrotoksin orellanine dan glucosides-nya oleh Hermann *et al.* (2012), penelitian tersebut menggunakan metode kuantitatif HPLC-ESI-MS/MS pada total orellanine dalam *Cortinarius rubellus*, plasma darah berdur, dan rebusan jamur yang dibuat dari *C. tubaeformis* dengan penambahan satu spesimen *C. rubellus*, dari hasil penelitian tersebut para peneliti berhasil mendeteksi orellanine pada tingkat 4,9 ng/mL pada semua ekstrak, yang mana tingkat tersebut jauh dibawah ambang batas untuk efek toksik akut, sehingga dengan begitu ditemukan metode yang berguna untuk diaplikasikan pada dua hal. Pertama toksin orellanine dapat di deteksi dengan cepat apabila mengkontaminasi produk makanan olahan, kedua orellanine saat ini sedang dievaluasi sebagai potensi penyembuhan kanker ginjal metastatik, dan hasil dari penelitian ini menyediakan metode untuk memantau orellanine pada konsentrasi rendah dalam interval terapeutik dalam serum darah (Hermann *et al.*, 2012).

Pada spesies dari genus *Inocybe* dan *Clitocybe* kebanyakan mengandung toksin muscarine, kemudian genus *Psilocybe* mengandung toksin psilocybin dan psilocin. Muscarine dan psilocybin merupakan dua metabolit sekunder penginduksi toksin yang ditemukan secara luas dalam garis keturunan Agaricales yang jauh, mengonsumsi makanan yang mengandung muscarine dapat menghasilkan gejala seperti keringat berlebihan, lakrimasi dan mengeluarkan saliva sebagai respon terhadap stimulasi sistem saraf parasimpatis (Kosentka, 2013).

Tabel 2. Konsentrasi Mikotoksin yang Didapatkan dari Analisis HPLC dan RP-HPLC

Spesies		Konsentrasi Toksin yang Didapatkan dari Analisis HPLC						Referensi
		AA	BA	GA	PCN	PHN	PHS	
<i>A. phalloides</i> (pada mg toxin per gram jamur kering) RP-HPLC	Spora	0,087 (±0,001)	0,040 (±0,001)	0,18 (±0,0001)	0,055 (±0,0001)	0,018 (±0,0001)	-	Kaya <i>et al.</i> , (2013)
	Miselium	0,024 (±0,0001)	0,01 (±0,001)	0,24 (±0,0001)	0,42 (±0,0003)	0,01 (±0,0001)	-	
	Pileus	2,95 (±0,05)	2,53 (±0,03)	0,62 (0,005)	2,27 (0,021)	1,4 (±0,03)	-	
	Lamellae	3,39 (±0,1)	2,95 (±0,04)	0,66 (±0,01)	2,06 (±0,01)	1,38 (±0,03)	-	
	Stipe	2,36 (±0,03)	1,75 (±0,01)	0,5 (±0,019)	2,04 (±0,02)	1,18 (±0,01)	-	
	Volva	1,03 (±0,01)	0,64 (±0,02)	0,25 (±0,01)	1,88 (±0,01)	1,25 (±0,004)	-	
	Utuh Kering	2,80 (±0,13)	2,38 (±0,06)	0,6 (±0,01)	2,12 (±0,01)	1,32 (±0,01)	-	
	Utuh segar	0,33	0,28	0,07	0,25	0,15	-	
	Total toksin	12,971	10,58	3,12	11,095	6,698	-	
<i>A. bisporigera</i> (mg/g berat kering)	Spora	0,30 ± 0,04	-	-	0,02 ± 0,01	0,00 ± 0,05	-	McKnight <i>et al.</i> , (2010)
	Pileus	1,70 ± 0,68	-	-	2,71 ± 0,65	11,98 ± 1,66	-	
	Stipe	1,70 ± 0,45	-	-	1,66 ± 0,40	11,15 ± 2,43	-	
	Total Toksin	3,7	-	-	4,39	23,13	-	

<i>A. exitialis</i> (mg/kg berat kering) RP-HPLC	Pileus	2469,2 ± 86,1	2437,9 ± 69,9	-	-	-	-	Hu <i>et al.</i> , (2012); Chen <i>et al.</i> , (2003)	
	Lamellae	2717,1 ± 95,2	729,1 ± 69,2	-	-	-	-		
	Stipe	1409,0 ± 111,8	996,2 ± 79,6	-	-	-	-		
	Annulus	1222,9 ± 56,5	1034,3 ± 12,8	-	-	-	-		
	Volva	355,8 ± 10,3	445,3 ± 1,4	-	-	-	-		
	Spora	140,5 ± 6,0	251,7 ± 6,5	-	-	-	-		
	Total Toksin	8314,5	5894,5	-	-	-	-		14209
<i>A. verna</i> (mg/g fungal matriks) RP-HPLC	Pileus	7,31 (±0,176)	2,81 (±0,120)	0,04 (±0,003)	7,91 (±0,154)	0,64 (±0,010)	-	Yilmaz <i>et al.</i> , (2014);	
	Lamellae	8,95 (±0,594)	4,26 (±0,145)	0,17 (±0,195)	10,25 (±0,187)	0,769 (±0,013)	-		
	Stipe	6,98 (±0,199)	2,80 (±0,037)	0,01 (±0,001)	7,53 (±0,113)	0,38 (±0,012)	-		
	Volva	2,16 (±0,061)	0,68 (±0,017)	0,01 (±0,001)	2,34 (±0,134)	0,06 (±0,001)	-		
	Utuh Kering	6,96 (±0,458)	2,89 (±0,237)	0,11 (±0,004)	8,50 (±0,200)	0,73 (±0,011)	-		
	Utuh segar	0,59 (±0,051)	0,25 (±0,021)	0,01 (±0,001)	0,72 (±0,017)	0,06 (±0,001)	-		
	Total Toksin	32,95	13,65	0,35	37,25	2,639	-		86,839
<i>A. fuliginea</i> (µg/g berat kering)	Tubuh Buah	9311,0	1039,7	-	712,2	24,9	47,5	12583,7	Chen <i>et al.</i> , (2003)

HPLC									
A. <i>subjunquille</i> <i>a var. alba</i> ($\mu\text{g/g}$ berat kering) HPLC	Tubuh Buah	691,3	101,2	-	219,1	-	21,7	1058,2	Chen <i>et al.</i> , (2003)
A. <i>exitisilis</i> ($\mu\text{g/g}$ berat kering) HPLC	Tubuh Buah	5163,7	1758,2	-	1107,4	62,3	61,0	8152,6	Chen <i>et al.</i> , (2003)
A. cf. <i>pseudoporphyria</i> ($\mu\text{g/g}$ berat kering) HPLC	Tubuh Buah	25,9	61,2	-	-	-	-	87,1	Chen <i>et al.</i> , (2003)
A. <i>gymnopus</i> ($\mu\text{g/g}$ berat kering) HPLC	Tubuh Buah	27,7	-	-	-	-	-	27,7	Chen <i>et al.</i> , (2003)

Ket: RP-HPLC: reversed-phase high performance liquid chromatography; AA: α -amanitin; BA: β -amanitin; GA: γ -amanitin; PHN: phalloidin; PCN: phallacidin; PHS: phallisin; PHN: Phalloin.

KESIMPULAN

Pada studi literatur ini diperoleh ±41 senyawa toksin pada 86 spesies fungi yang terdapat pada 13 famili. Famili-famili tersebut di antaranya amanitaceae, agaricaceae, boletaceae, bolbitiaceae, cortinariaceae, entolomataceae, hygrophoropsidaceae, inocybaceae, omphalotaceae, pluteaceae, russulaceae, strophariaceae dan tricholomataceae.

DAFTAR PUSTAKA

- Akata, I., M.G. Halici, & Y. Uzun. (2011). Additional Macrofungi Records From Trabzon Province for the Mycobiota of Turkey. *Turkish Journal of Botany*. **35(3)**: 309-314.
- Alamgir, A.N.M. (2018). *Therapeutic Use of Medicinal Plants and their Extracts: Volume 2*. Springer Cham, Denmark.
- Alexopoulos, C.J., C.W. Mims, & M. Blackwell. (1996). *Introductory Mycology Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Apperley, S., P. Kroeger, M. Kirchmair, M. Kiaii, D.T. Holmes & I. Garber. (2013). Laboratory confirmation of *Amanita smithiana* mushroom poisoning. *Clinical toxicology*. **51(4)**: 249-251.
- Azeem, U., K.R. Hakeem, & M. Ali. (2020). *Fungi For Human Health*. Springer Nature, Switzerland.
- Bagchi, D., & A. Swaroop. (2016). *Food Toxicology*. CRC Press, New York.
- Barros, L., P. Baptisa, & I.C.F.R. Ferreira. (2007). Effect of *Lactarius piperatus* Fruiting Body Maturity Stage on Antioxidant Activity Measured by Several Biochemical Assays. *Food and Chemical Toxicology*. **45**: 1731-1727.
- Campbell, N.A., J.B. Reece, M.R.Taylor, E.J. Simon & J.L. Dickey. (2009). *Biology Concepts and Connections Sixth Edition*. San Francisco, Pearson Benjamin Cummings.
- Cervellin, G., I. Comelli, G. Rastelli, F. Sanchis-Gomar, F. Negri, C. De Luca, & G. Lippi. (2017). Epidemiology and Clinics of Mushroom Poisoning in Northern Italy: A 21-Year Retrospective Analysis. *Human and Experimental Toxicology*. **20(10)**: 1-7.
- Chen, Z.H, P. Zhang, & Z. Zhang. (2014). Investigation and Analysis of 102 Mushroom Poisoning Cases in Southern China From 1994 to 2012. *Fungal Diversity*. **64**: 123-131.
- Chen, Z.H, J.S. Hu, Z.G. Zhang, P. Zhang, & D.P. Li. (2003). Determination and Analysis of the Main Amatoxins and Phallotoxins in 28 Species of Amanita From China (in Chinese). *Mycosystema*. **22**: 565–573.
- Coker, W.C., & H.C. Beardslee. (1922). The Laccarias and Clitocybes of North Carolina. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*. **38(1/2)**: 98-126.
- Fiedziukiewicz, M. (2013). Mushroom Toxins-The Meixner Test [Doctoral dissertation]. University of York.

- Gandjar, I., W. Sjamsuridzal, & A. Oetari. (2006). *Mikologi Dasar dan Terapan*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Hawksworth, D.L. (1991). The Fungal Dimension of Biodiversity: Magnitude, Significance, and Conservation. *Mycological research*. **95(6)**: 641-655.
- Hermann, A., H. Hedman, J. Rosen, D. Jansson, B. Haraldsson & K. Hellenas. (2012) Analysis of the Mushroom Nephrotoxin Orellanine and Its Glucosides. *Journal of Natural Products*. **75(10)**: 1690-1696.
- Hong, L., E. Heather, Hallen-Adams & J.D. Walton. (2009). Processing of the Phalloidin Proprotein by Prolyl Oligopeptidase from the Mushroom *Conocybe albipes*. *The Journal of Biological Chemistry*. **284(27)**: 18070-18077.
- Hu, Jinsong, Z. Ping, Z. Jung, & Z. Chen. (2012). Determination of Amatoxin in Different Tissue and Development Stage of *Amanita exitialis*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **92(13)**: 2664-2667.
- Irpan, A.M., & D. Prasaja. (2021). Keanekaragaman Jamur Makroskopis di Jalur Pendakian Kawah Ratu Taman Nasional Gunung Halimun Salak. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*. **7(1)**: 35-48.
- Joval, E., P. Kroeger, & N. Towers. (1996). Hydroquinone: the toxic compound of *Agaricus hondensis*. *Planta medica*. **62(02)**: 185-185.
- Kang, Eunjang, K. Cheong, M. Lee, S. Kim, G. Shin, H. Kim & I. Park. (2015). Severe But Reversible Acute Kidney Injury Resulting from *Amanita punctata* Poisoning. *Kidney Res Clin Pract*. **34**: 233-236.
- Kaya, E., S. Karahan, R. Bayram, K.O. Yaykasli, S. Colakoglu & A. Saritas. (2013). Amatoxin and Phallotoxin Concentration in *Amanita phalloides* Spores and Tissues. *Toxicology and Industrial Health*. **31(12)**: 1172-1177.
- Kämmerer, A., H. Besl & A. Bresinsky. (1985). Omphalotaceae fam. nov. und Paxillaceae, ein Chemotaxonomischer Vergleich zwier Pilzfamilien der Boletales. *Pl. Syst. Evol*. **150 (1-2)**: 101-117.
- Kerschbaum, J., G. Mayer & A. Maurer. (2012). High-dose Antioxidant Therapy and Steroids Might Improve the Outcome of Acute Renal Failure from Intoxication by *Cortinarius rubellus*: Report of Two Cases. *Clinical Kidney Journal*. **5(6)**: 576-578.
- Kirchmair, M., P. Carrilho, R. Pfab, B. Haberl, J. Felgueiras, F. Carvalho, J. Cardoso, I. Melo, J. Vinhas & S. Neuhauser. (2012). Amanita Poisonings Resulting in Acute, Reversible Renal Failure: New Cases, New Toxic Amanita Mushrooms. *Nephrol Dial Transplant*. **27**: 1380-1386.
- Kibby, G. (2012). The *Hygrophoropsis aurantiaca* complex. *Field mycology*. **13(2)**: 43.
- Kokkonen, K. (2015). A Survey of Boreal *Entoloma* with Emphasis on the Subgenus *Rhodopolia*. *Mycological Progress*. **14(12)**.

- Kosentka, P., S.L Sprague, M. Ryberg, J. Gartz, A.L. May, S.R. Campagna & P.B. Matheny. (2013). Evolution of the Toxins Muscarine and Psilocybin in a Family of Mushroom-Forming Fungi. *PLoS ONE*. **8(5)**.
- Li, Y., M. Mu, L. Yuan, B. Zeng, & S. Lin. (2018). Challenge in The Early Diagnosis of Patients with Acute Liver Failure Induced by Amatoxin Poisoning. *Medicine*. **97**: 27.
- Luo, H., S.Y. Hong, R.M Sgambelluri, E. Angelos, X. Li, & J.D. Walton. (2014). Peptide Macrocyclization Catalyzed by a Prolyl Oligopeptidase Involved in a-amanitin Biosynthesis. *Chem Biol*. **21**:1610-1617.
- Mahdizadeh, V., N. Safaie, E.M. Goltapeh, M.R. Asef, S.M.N. Hosseini, & P. Callac. (2016). Agaricus Section *Xanthodermatei* in Iran. *Phytotaxa*. **247(3)**: 181-196.
- Matheny, P.B., A.M Hobbs, & F. Esteve-Raventós. (2020). Genera of Inocybaceae: New Skin for the Old Ceremony. *Mycologia*. **112(1)**: 83-120.
- McKnight, T.A., K.B. McKnight, & M.C. Skeels. (2010). Amatoxin and Phallotoxin Concentration in *Amanita bisporigera* Spores. *Mycologia*. **102(4)**: 763-765.
- McPartland, J.M., R.J. Vilgalys & M.A Cubeta. (1997). Mushroom Poisoning. *American Family Physician*. **55**: 1797-1812.
- Noordeloos, M.E., & G.M. Gates. (2012). *The Entolomataceae of Tasmania*. Springer, New York.
- Patocka, J., R. Wu, E. Nepovimova, M. Valis, W. Wu & K. Kuca. (2021). Chemistry and Toxicology of Major Bioactive Substances in Inocybe Mushrooms. *International Journal of Molecular Sciences*. **22(4)**: 2218.
- Putra, I.P. (2020). *Kasus Keracunan Inocybe sp.* Di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Biologi Di Era Pandemi COVID-19; Gowa, 19 September 2020. Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar.
- Saputri, D.E. (2017). *Identifikasi Jamur Pada Petis Udang (Studi di Pasar Citra Niaga Jombang)*. PhD Thesis. STIKES Insan Cendekia Medika Jombang.
- Sánchez-García, M., P.B. Matheny, G. Palfner & D.J. Lodge. (2014). Deconstructing the Tricholomataceae (Agaricales) and Introduction of the New Genera Albomagister, Corneriella, Pogonoloma and Pseudotrachelium. *Taxon* **63(5)**: 993-1007.
- Shao, D., S. Tang, R.A. Healy, P.M. Imerman, D.E. Schrank, & W.K. Rumbelha. (2016). A Novel Orellanine Containing Cortinarius Armillatus. *Toxicon*. **114**: 65-74.
- Toth, A., A. Hausknecht, I. Krisai-Greilhuber, T. Papp, C. Vagvolgyi, & L.G. Nagy. (2013). Iteratively Refined Guide Trees Help Improving Alignment and Phylogenetic Inference in the Mushroom Family Bolbitiaceae. *PLoS One*. **8(2)**: e56143.
- Trueb, L. (2013). Intoxication par Les Champignons. *Rev Med Suisse*. **35(3)**: 309-314.

- Yilmaz, I., E. Kaya, Z.A. Sinirlioglu, R. Bayram, M.G. Surmen, & S. Colakoglu. (2014). Clinical Importance of Toxin Concentration in *Amanita verna* mushroom. *Toxicon*. **87**: 68-75.
- Walton, J. (2018). *The Cyclic Peptide Toxins of Amanita and Other Poisonous Mushrooms*. Springer Nature, Switzerland.
- Zoberi, M.H. (1972). *Tropical Macrofungi Some Common Species*. Palgrave Macmillan, London.