



BAB 5

METODE DIAGNOSTIK

MIKOLOGI MEDIS

RONNY

E-mail: ronny@uki.ac.id

PENDAHULUAN

Infeksi jamur atau mikosis merupakan masalah kesehatan yang semakin mendapatkan perhatian, terutama dalam dua dekade terakhir. Peningkatan jumlah pasien dengan kondisi imunokompromais, seperti pada penderita HIV/AIDS, pasien yang sedang menjalani kemoterapi, pengguna imunosupresan pasca-transplantasi organ, dan penderita diabetes mellitus atau kondisi imunokompromais lainnya telah menyebabkan kenaikan angka kejadian infeksi jamur oportunistik dan seringkali mengancam jiwa. Selain itu, penggunaan antibiotik spektrum luas yang tidak rasional turut berperan terhadap pertumbuhan patogen jamur (Denning, 2022; Teles & Seixas, 2015; Thompson et al., 2021).

Hingga saat ini, spesies jamur yang telah diidentifikasi di seluruh dunia sekitar 150000 spesies dan jumlah ini hanya sekitar 3-6% total spesies jamur yang ada di bumi yang diperkirakan mencapai 2,2-5,2 juta (Paterson et al., 2023). Dari jumlah tersebut, sekitar 700 spesies berhubungan dengan manusia, baik yang hidup secara komensal maupun sebagai patogen (Fisher et al., 2020).

Infeksi akibat jamur dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu infeksi yang menyerang bagian luar tubuh (mikosis superfisial) dan infeksi jamur invasif (IFI).

Berdasarkan analisis *Global Burden of Disease Study* pada tahun 2017, prevalensi global penyakit kulit akibat infeksi jamur (dermatomikosis) diperkirakan mencapai 681 juta hingga 808 juta kasus (Urban et al., 2021). Secara statistik, angka kejadian IFI sekitar 1,9 juta pasien setiap tahunnya, dan sekitar tiga juta orang di seluruh dunia terinfeksi jamur kronis berat. Mortalitas IFI diestimasi sekitar >1,6 juta kematian per tahun (Fang et al., 2023).

Penyebab utama IFI adalah kandidiasis invasif, yaitu sekitar 70% diikuti kriptokokosis (20%) dan aspergilosis (10%) (Bongomin et al., 2017). Menurut data tahun 2024, angka kematian pasien dengan kandidemia antara 18-24%, sementara tingkat kematian aspergilosis invasif sangat tinggi, 25% diantara adalah pasien penerima transplantasi sel punca dan 59% penerima transplantasi organ padat (Centers for Disease Control and Prevention, 2024; Centers for Diseases Control and Prevention, 2024).

Mikologi medis adalah ilmu yang mempelajari jamur penyebab penyakit pada manusia. Diagnosis yang cepat dan tepat sangat penting

karena beberapa jamur memiliki resistensi alami terhadap antijamur tertentu. Gejala klinis infeksi jamur sering tidak khas dan menyerupai infeksi mikroorganisme lain, sehingga pemeriksaan laboratorium menjadi kunci dalam mengidentifikasi jenis jamur penyebab.

Metode diagnostik mikologi medis berkembang dari teknik konvensional, seperti pemeriksaan mikroskopis dan kultur, serologi, hingga pemeriksaan molekuler dan proteomik untuk mengidentifikasi secara cepat dan spesifik terhadap patogen jamur penyebab. Setiap metode memiliki kelebihan dan keterbatasannya masing-masing, baik dari sisi sensitivitas, spesifisitas, waktu pengerjaan, biaya hingga ketersediaan fasilitas di laboratorium klinis.

Bab ini membahas berbagai metode diagnostik yang digunakan dalam pemeriksaan mikologi medis yang dihadapi dalam praktik klinis sehari-hari. Pemahaman menyeluruh berbagai metode ini diharapkan meningkatkan ketepatan diagnosis dan menunjang pengambilan keputusan terapi yang optimal.

SEJARAH

Antara tahun 1837 hingga 1841, dianggap sebagai permulaan mikologi medis saat mikosis (*tinea favosa*) pada manusia pertama diidentifikasi oleh Gruby dan Remak. Sebelumnya di tahun 1935, Agostino Bassi dari Italia, seorang pengacara yang juga sebagai petani menemukan bahwa penyakit epidemi pada ulat sutra yang disebut *muscardine* merupakan penyakit akibat infeksi jamur. Pada akhir dekade 1890, Raimond Jacques Sabouraud merumuskan secara sistematis peran jamur patogen dalam infeksi dermatofita atau infeksi jamur pada kulit yang disebabkan oleh jamur dermatofit (Espinell-Ingroff, 1996).

Taksonomi fungi juga memiliki peran terhadap proses identifikasi dan diagnosis penyakit mikosis. Taksonomi jamur mikroskopis (termasuk khamir dan kapang) baru berkembang pesat pada akhir abad ke-19 seiring kemajuan metode pemeriksaan mikroskopik, analisis biokimia dan genetik. Pemahaman tentang taksonomi fungi penting dalam proses diagnosis. Identifikasi spesies jamur penyebab infeksi secara tepat memungkinkan penatalaksanaan terapi yang efektif (Xu, 2020).

DIAGNOSIS

Diagnosis infeksi jamur merupakan proses yang Panjang, salah satunya karena kemiripan gejala antara infeksi jamur dengan infeksi bakteri dan virus.

Diperlukan bukti mikologis berupa elemen jamur atau hasil metabolismenya dari sampel klinis yang menunjukkan bahwa jamur tersebut benar-benar penyebab infeksi, bukan sekadar jamur komensal yang kebetulan ditemukan.

Namun, pada pasien yang dicurigai mengalami mikosis, bukti mikologis sering kali sulit diperoleh. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain beban jamur patogen yang rendah (*low fungal burden*), terutama pada tahap awal infeksi; pertumbuhan jamur yang lambat seperti pada *Histoplasma* sp.; serta beberapa jenis jamur tertentu yang tidak dapat tumbuh pada media standar laboratorium. Selain itu, mikosis, terutama IFI, umumnya menyerang organ dalam, sehingga pengambilan sampel langsung dari lokasi infeksi sering memerlukan prosedur invasif seperti biopsi atau operasi.

Bukti mikologis juga sulit didapatkan akibat gejala klinis yang tidak spesifik, sehingga sering salah atau terlambat dicurigai sebagai infeksi jamur. Sensitivitas tes mikologis konvensional juga memiliki keterbatasan, seperti pada metode pemeriksaan langsung dan pewarnaan mikologis memiliki sensitivitas rendah, tergantung jumlah jamur dan kualitas sampel, atau memiliki sensitivitas tinggi seperti tes serologis atau molekuler, tetapi tidak selalu tersedia di fasilitas pelayanan kesehatan biasa (Jenks et al., 2020; Teles & Seixas, 2015; Wiegand et al., 2016). Sebagian besar jamur pada manusia bersifat komensal atau memiliki patogenisitas rendah, dan sering kali bersifat oportunistik. Sebab itu, penting untuk membedakan antara jamur kontaminan, flora normal, atau sebagai patogen. (American Academy of Microbiology Colloquium, 2019; World Health Organization, 2022).

Karena tantangan-tantangan tersebut di atas, diagnosis pasti mikosis sering terlambat atau bahkan tidak ditegakkan. Untuk mengatasi keterbatasan ini dan menyusun pendekatan diagnostik yang lebih sistematis, beberapa kriteria diagnosis telah dikembangkan, salah satunya oleh *European Organization for Research and Treatment of Cancer/ Mycoses Study Group Education and Research Consortium* (EORTC/MSG), yang mengklasifikasikan diagnosis infeksi jamur menjadi tiga kategori: *possible*, *probable*, dan

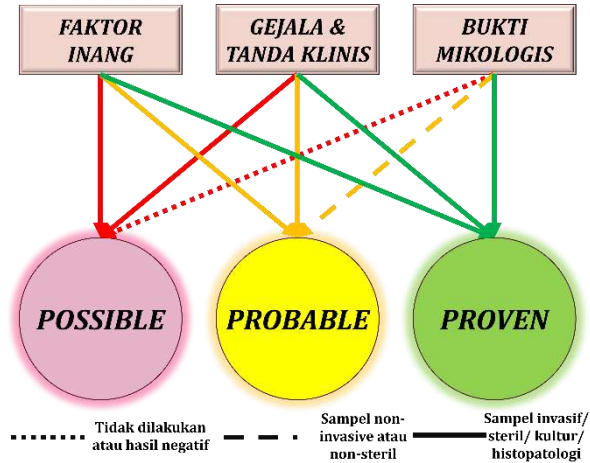
proven. Ketiga klasifikasi ini didasarkan pada kombinasi antara faktor inang (pasien), gejala klinis, dan bukti mikologis, dengan tujuan membantu klinisi menilai tingkat kepastian diagnosis.

Faktor pasien berkaitan dengan kondisi yang menyebabkan penurunan sistem imun (imunokompromais), sehingga meningkatkan kerentanan terhadap invasi jamur dan memungkinkan terjadinya perubahan patogenik. Kondisi-kondisi tersebut antara lain penyakit kronis seperti tuberkulosis, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), dan keganasan; infeksi HIV/AIDS; diabetes melitus; serta kondisi khusus seperti prematuritas, berat badan lahir rendah, kegagalan multiorgan, dan perawatan intensif di unit perawatan intensif (ICU) (Bongomin et al., 2017; Jenks et al., 2020; Wickes & Wiederhold, 2018). Selain itu, kondisi pasien juga dapat diperburuk oleh tindakan invasif, prosedur operatif, serta penggunaan obat-obatan tertentu, seperti obat sitotoksik, kortikosteroid, dan antibiotik jangka panjang, yang semuanya dapat menurunkan sistem imun dan meningkatkan risiko infeksi jamur. (American Academy of Microbiology Colloquium, 2019; Bateman et al., 2020; Fisher et al., 2020; Little et al., 2024; Mendonça et al., 2022).

Selain faktor pasien, gejala dan tanda klinis juga merupakan komponen penting dalam mempertimbangkan kemungkinan infeksi jamur. Beberapa manifestasi klinis yang khas mencakup trakeobronkitis, infeksi sinonasal, infeksi pada sistem saraf pusat, dan infeksi kulit. Tanda-tanda sistemik seperti sepsis, disertai temuan fisik berupa nodul atau lesi pada kulit, dapat memperkuat dugaan klinis. Di samping itu, hasil pemeriksaan radiologi yang menunjukkan gambaran khas infeksi jamur turut menjadi indikator pendukung dalam proses diagnosis (Donnelly et al., 2020; Mendonça et al., 2022).

Berdasarkan gambar 1, penegakan diagnosis infeksi jamur dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu *possible* (mungkin), *probable* (diduga kuat), dan *proven* (terbukti), yang ditentukan berdasarkan kombinasi faktor risiko pasien, gejala dan tanda klinis, serta bukti mikologis. Diagnosis *possible* ditegakkan apabila pasien memiliki faktor risiko dan gejala klinis yang konsisten dengan IFI, namun belum dilakukan pemeriksaan mikologi atau hasilnya negatif. Kategori ini mencerminkan kecurigaan awal terhadap infeksi jamur, tetapi belum ada konfirmasi laboratorium (Donnelly et al., 2020; Fang et al., 2023; Jenks et al., 2020; Wiegand et al., 2016).

Diagnosis *probable* berlaku bila terdapat faktor risiko dan manifestasi klinis yang kuat, serta didukung oleh bukti mikologis non-invasif, seperti tes serologis atau molekuler (contoh: galaktomanan, PCR) atau sampel yang diambil berasal dari bagian tubuh yang tidak steril (sputum, *bronchoalveolar lavage* (BAL), lesi kulit, feses, urin dll) (Bongomin et al., 2017; Donnelly et al., 2020; Espinel-Ingroff, 1996; Jenks et al., 2020). Meski belum diperoleh bukti langsung dari jaringan tubuh, hasil ini dapat digunakan untuk memulai terapi antijamur pada pasien berisiko tinggi (Mendonça et al., 2022; Seth et al., 2019; Thompson et al., 2021; Wahyuningsih et al., 2021).



Gambar 5.1. Diagram klasifikasi (*possible*, *probable*, dan *proven*) diagnosis mikosis invasif berdasarkan kombinasi faktor inang, gejala klinis, dan bukti mikologis.

Terakhir adalah diagnosis *proven* yang merupakan diagnosis paling valid, karena berdasarkan temuan jamur secara langsung dari spesimen steril (melalui kultur atau pemeriksaan histopatologi). Kategori ini menunjukkan invasi jamur secara pasti (definitif) dan menjadi dasar utama dalam menentukan pilihan terapi antijamur yang tepat (Bateman et al., 2020; Bongomin et al., 2017; Donnelly et al., 2020; Jenks et al., 2020; Seth et al., 2019; Wiegand et al., 2016).

Dengan memahami klasifikasi ini, seorang klinisi dapat menentukan terapi secara lebih cepat dan tepat berdasarkan keadaan pasien, pemeriksaan fisik serta hasil laboratorium.

METODE DIAGNOSIS

Untuk menetapkan diagnosis *proven* (terbukti) pada infeksi jamur invasif, diperlukan bukti pemeriksaan histopatologis, sitopatologis, atau mikroskopis langsung yang menunjukkan elemen jamur seperti hifa disertai kerusakan jaringan, atau isolasi jamur melalui kultur yang berasal dari lokasi steril seperti darah atau jaringan dalam.

Secara umum, metode diagnosis infeksi jamur dibagi menjadi konvensional dan non-konvensional. Metode konvensional meliputi pemeriksaan makroskopik dan mikroskopis langsung, pewarnaan khusus (PAS, GMS, dll.), kultur jamur, dan uji *germ tube*. Sementara metode non-konvensional mencakup deteksi antigen dan antibodi spesifik, pemeriksaan molekuler, MALDI-TOF MS, dan pencitraan radiologis dan proteomik. (Hieu et al., 2024; Mendonça et al., 2022; Robert et al., 2021).

METODE MIKROSKOPIK DAN KULTUR

Metode mikroskopi dan kultur merupakan standar emas dalam diagnosis mikosis. Namun, keduanya memiliki keterbatasan berupa sensitivitas yang relatif rendah dibandingkan metode diagnostik lainnya. Sensitivitas pemeriksaan mikroskopis sangat bergantung pada jenis sampel dan kondisi klinis pasien. Sebagai contoh, pewarnaan tinta India untuk mendeteksi kriptokokosis memiliki sensitivitas yang relatif rendah (sekitar 86%) jika dibandingkan pemeriksaan antigen, terutama akibat rendahnya beban jamur pada tahap awal penyakit. Pada kasus mikosis invasif, sensitivitas pemeriksaan mikroskopis bahkan hanya sekitar 50%, akibat kualitas sampel yang buruk. (Baker & Denning, 2023; Pemán & Ruiz-Gaitán, 2025). Namun, sensitivitas dapat ditingkatkan dengan mengkombinasikannya dengan teknik lain seperti pada kasus mikokeratitis, yang menggunakan *calcofluor white* sehingga

sensitivitas meningkat signifikan hingga mencapai 90,7% (Hoffman et al., 2022).

Meskipun demikian, mikroskopik langsung tetap penting karena mampu memberikan hasil cepat, mudah dan lebih murah. Namun, selain sensitivitas yang rendah, memiliki keterbatasan lain seperti spesifisitas yang juga rendah, sulit mengidentifikasi jamur penyebab hingga ke tingkat genus apalagi spesies serta memerlukan pemeriksa yang sudah berpengalaman (Pemán & Ruiz-Gaitán, 2025).

METODE KULTUR

Metode ini juga memungkinkan uji suseptibilitas jamur terhadap antifungal. Namun, keterbatasan utama dari pendekatan ini adalah rendahnya sensitivitas dan kesulitan memperoleh sampel dari lokasi steril terutama pada pasien dengan kondisi seperti trombositopenia atau kontraindikasi klinis lainnya karena seringkali memerlukan tindakan invasif (Jenks et al., 2020; Teles & Seixas, 2015). Selain itu, metode ini memakan waktu, rentan kontaminasi, dan berisiko terjadi hasil negatif atau positif palsu (Pemán & Ruiz-Gaitán, 2025).

Sensitivitas kultur darah untuk jamur ragi berkisar antara 50-95%, bahkan pada jamur kapang sensitivitasnya lebih rendah, yaitu hanya sekitar 1-5%. Pada kasus kandidiasis invasif, kultur darah merupakan standar emas, tetapi lamanya waktu kultur akan meningkatkan risiko pasien karena keterlambatan terapi. Selain itu, banyak spesies jamur yang sulit dikenali atau dibedakan secara morfologis (*cryptic*) dari hasil isolasi pada media kultur konvensional, seperti *Candida* spp. sehingga hanya dapat diidentifikasi melalui media kultur khusus atau metode molekuler (Fang et al., 2023).

Jamur lain seperti *Cryptococcus* spp, *Histoplasma* spp, dan *Aspergillus* spp. memiliki sensitivitas yang jauh lebih rendah dengan metode kultur dibandingkan dengan metode serologi seperti *lateral flow assay* (LFA) dan tidak membutuhkan pemeriksa yang berpengalaman serta cocok dilakukan di daerah dengan sumber daya terbatas. Sementara itu, pemeriksaan molekuler untuk *Candida* spp., *Aspergillus* spp., *Mucorales*, dan *Pneumocystis jirovecii* juga memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dan lebih cepat dibandingkan kultur, (Baker & Denning, 2023).

Kultur dari cairan non-steril, seperti BAL, memiliki sensitivitas rendah (30–60%) dan bahkan bisa lebih rendah pada pasien yang sedang mendapat terapi antifungal (Jenks et al., 2020). Selain itu, hasil kultur dari sampel non-steril dapat menyesatkan karena jamur yang tumbuh mungkin berasal dari kolonisasi jamur komensal, sehingga berisiko menyebabkan kesalahan diagnosis dan pengobatan yang tidak perlu (Jenks et al., 2020; Teles & Seixas, 2015).

Namun, kultur juga memiliki keuntungan seperti mampu mengisolasi jamur penyebab, memberikan gambaran makroskopik maupun mikroskopik, identifikasi hingga tingkat spesies, informasi kuantitatif seperti jumlah koloni, mendeteksi resistensi terhadap antifungal dan menjadi kultur koleksi karena dapat disimpan dalam jangka waktu lama (Pemán & Ruiz-Gaitán, 2025; Wiegand et al., 2016).

METODE HISTOPATOLOGI

Pemeriksaan histopatologi, seperti juga pemeriksaan mikroskopik dan kultur, menjadi pemeriksaan baku emas untuk mikosis. Pemeriksaan ini penting untuk mendapatkan diagnosis *proven*. Selain itu, pemeriksaan histopatologi dapat memperlihatkan respons imun inang terhadap infeksi. Namun, seperti pemeriksaan konvensional lainnya, memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang rendah dan juga memakan waktu serta keterbatasan identifikasi karena beberapa jenis jamur memiliki gambaran histopatologis yang mirip (Fang et al., 2023; Pemán & Ruiz-Gaitán, 2025; Wickes & Wiederhold, 2018).

Sensitivitas pemeriksaan histopatologi bergantung pada pengalaman pemeriksa, kualitas sampel, serta beban dan distribusi jamur dalam jaringan. Dalam sebuah studi retrospektif, pemeriksaan Pan-fungal PCR menunjukkan sensitivitas sebesar 30%, dan sensitivitas histopatologi hanya sedikit lebih rendah. Untuk memperoleh identifikasi lebih akurat, kombinasi antara pemeriksaan histopatologi yang menunjukkan keberadaan elemen jamur dengan PCR, memungkinkan identifikasi hingga tingkat genus dan spesies (Donnelly et al., 2020; Seth et al., 2019).

METODE SEROLOGI DAN DETEKSI ANTIGEN

Tes serologi merupakan cara yang lebih cepat mendeteksi jamur penyebab infeksi, sehingga membantu proses pengambilan keputusan diagnostik. Tes ini dilakukan untuk menunjukkan keberadaan antigen atau antibodi dalam serum atau cairan tubuh pasien yang dicurigai terinfeksi.

Salah satu keterbatasan utama metode ini adalah pada pasien dengan gangguan imun atau yang sedang menggunakan immunosupresan, tubuh mungkin tidak menghasilkan antibodi dalam jumlah yang cukup, sehingga berisiko menimbulkan hasil negatif palsu (Fang et al., 2023; Jenks et al., 2020). Sehingga pada keadaan pasien seperti itu, deteksi antigen jamur menjadi pilihan. Polisakarida atau protein antigen yang disekresikan jamur dapat ditemukan di berbagai cairan tubuh, sehingga mampu dideteksi baik pada individu dengan imunokompromais maupun imunokompeten (Fang et al., 2023). Selain itu, salah satu kelemahan tes serologi adalah terjadinya reaksi silang, yaitu ketika antibodi pasien bereaksi terhadap antigen jamur lain yang memiliki struktur serupa, seperti antara *Histoplasma*, *Blastomyces*, dan *Coccidioides*, maupun akibat antigen yang mirip dari jamur yang berbeda sehingga menyebabkan hasil positif palsu dan misdiagnosis (Jenks et al., 2020).

Saat ini, berbagai pemeriksaan serologi telah tersedia untuk mendeteksi infeksi jamur, termasuk uji β -D-glukan, galaktomanan pada serum dan BAL, deteksi antibodi mannan, uji antigen *Cryptococcus* melalui metode *lateral flow* dan aglutinasi, serta pemeriksaan antibodi terhadap *Aspergillus* spp., *Candida* spp., dan *Histoplasma* spp. (Salmanton-García et al., 2023; Schelenz et al., 2019).

Uji serologi merupakan metode diagnostik yang relatif cepat serta dapat menggunakan sampel dari lokasi non-steril (urin, sputum, dll). Pemeriksaan ini berguna ketika kultur tidak dilakukan atau pengambilan sampel invasif tidak memungkinkan karena kondisi klinis pasien (Fang et al., 2023).

METODE MOLEKULER

Kemajuan terbaru menunjukkan bahwa metode molekuler semakin dapat diandalkan untuk deteksi dan diagnosis infeksi jamur. Dibandingkan kultur, metode ini menawarkan hasil lebih cepat,

akurat, dan mampu mengidentifikasi resistensi antijamur lebih akurat serta spesies yang sulit dikultur (Baker & Denning, 2023)(Lass-Flörl & Steixner, 2023).

Pengembangan uji molekuler, beberapa kriteria penting harus dipertimbangkan antara lain: biaya, ketersediaan peralatan, fleksibilitas metode, basis data identifikasi terutama untuk spesies baru, standarisasi nilai ambang deteksi, serta ketersediaan reagen dan bahan habis pakai yang terjangkau tanpa mengesampingkan mutu (Wickes & Wiederhold, 2018).

Secara keseluruhan metode molekuler memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi dibandingkan dengan metode lainnya (Wiegand et al., 2016) tetapi perlu pula diperhatikan kekurangan metode ini, terutama yang berhubungan dengan ketersediaan sarana dan prasarana laboratorium di area tersebut.

METODE PROTEOMIK

Metode ini diciptakan pada tahun 1995, yang berasal dari kata PROTEin dan genOME. Proteomik adalah mempelajari keseluruhan protein yang dihasilkan oleh genom dalam sel, jaringan, atau organisme, dan dapat berubah tergantung waktu serta kondisi lingkungan, meskipun genomnya tetap. Proteomik merupakan studi skala besar terhadap protein, baik dari segi kuantitas (proteomik kuantitatif) maupun karakteristik lainnya seperti modifikasi, lokasi, dan fungsi (proteomik kualitatif).

Analisis proteomik umumnya melibatkan tiga tahap: ekstraksi, pemisahan, dan identifikasi protein. Metode ini menggunakan elektroforesis dua dimensi atau kromatografi cair yang dikombinasikan dengan spektrometri massa (LC-MS) dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi mikroorganisme secara cepat melalui *intact protein profiling* (IPP) (Todd et al., 2018)

Proteomik memiliki kelebihan yaitu analisis ekspresi protein, memberikan informasi lebih mendalam tentang patogenesis infeksi jamur dan respons tubuh inang, mampu mengungkap fungsi biologis yang tidak dapat diakses hanya melalui studi genomik, mampu mengidentifikasi biomarker spesifik agar diagnosis lebih cepat dan akurat serta pemantauan efektivitas terapi antijamur.

Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain kebutuhan akan peralatan canggih seperti spektrometri massa (MS) dan kromatografi cair (LC), yang memerlukan biaya tinggi dan keahlian khusus. Selain itu, keberadaan protein berlimpah dari inang (pada sampel klinis) atau dari komponen umum jamur (pada kultur), berisiko mengaburkan keberadaan protein penanda infeksi yang jumlahnya rendah, sehingga berisiko menimbulkan bias interpretasi hasil proteomik. Selain itu, data yang dihasilkan sangat besar dan kompleks, sehingga memerlukan dukungan bioinformatika seperti infrastruktur, perangkat lunak, dan keahlian analisis data yang baik serta basis data proteom yang lengkap untuk menghasilkan interpretasi yang akurat (Todd et al., 2018).

SIMPULAN

Diagnosis mikosis medis merupakan aspek penting dalam penatalaksanaan infeksi jamur yang tepat dan efektif, terutama pada populasi pasien dengan imunitas yang terganggu. Metode konvensional seperti mikroskopi, kultur, dan histopatologi tetap menjadi dasar penting dalam identifikasi infeksi jamur, meskipun keterbatasan sensitivitas dan spesifisitas, waktu pemeriksaan, serta karakteristik spesies jamur. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, metode non-konvensional seperti deteksi antigen, antibodi, biomarker jamur spesifik, teknik molekuler dan proteomik lebih menjanjikan kemampuan diagnostik dengan akurasi lebih tinggi dan waktu deteksi yang lebih cepat. Namun, setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasannya masing-masing, sehingga pendekatan diagnosis ideal adalah kombinasi dari berbagai teknik diagnostik yang disesuaikan dengan kondisi klinis pasien dan fasilitas laboratorium yang tersedia. Pemahaman yang baik terhadap prinsip, kelebihan, dan keterbatasan setiap metode sangat penting untuk memastikan diagnosis yang tepat, terapi yang cepat, serta peningkatan luaran klinis pasien yang terinfeksi jamur.

DAFTAR PUSTAKA

- American Academy of Microbiology Colloquium. (2019). One Health: Fungal Pathogens of Humans. In *Am Soc Microbiol*.
- Baker, J., & Denning, D. W. (2023). The SSS revolution in fungal diagnostics: speed, simplicity and sensitivity. *British Medical Bulletin*, 147(1), 62–78. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldad011>
- Bateman, M., Oladele, R., & Kolls, J. K. (2020). Diagnosing *Pneumocystis jirovecii* pneumonia: A review of current methods and novel approaches. *Med Mycol*, 58(8), 1015–1028. <https://doi.org/10.1093/mmy/myaa024>
- Bongomin, F., Gago, S., Oladele, R. O., & Denning, D. W. (2017). Global and multi-national prevalence of fungal diseases—estimate precision. *J Fungi*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/jof3040057>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Data and Statistics on Candidemia*. <https://www.cdc.gov/candidiasis/data-research/facts-stats/index.html>
- Centers for Diseases Control and Prevention. (2024). *Data and Statistics on Aspergillosis*. <https://www.cdc.gov/aspergillosis/statistics/index.html>
- Denning, D. W. (2022). Global incidence and mortality of severe fungal disease. *Lancet Infect Dis*, 24(7), e428–e438. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(23\)00692-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(23)00692-8)
- Donnelly, P., Chen, S. C., Kauffman, C. A., Steinbach, W. J., Baddley, J. W., Verweij, P. E., Clancy, C. J., Wingard, J. R., Lockhart, S. R., Groll, A. H., Sorrell, T. C., Bassetti, M., Akan, H., Alexander, B. D., Andes, D., Azoulay, E., Bialek, R., Bradsher, R. W., Bretagne, S., ... Pappas, P. G. (2020). Revision and update of the consensus definitions of invasive fungal disease from the european organization for research and treatment of cancer and the mycoses study group education and research consortium. *Clinical Infectious Diseases*, 71(6), 1367–1376. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz1008>
- Espinel-Ingroff, A. (1996). History of medical mycology in the United States. *Clin Microbiol Rev*, 9(2), 235–272. <https://doi.org/10.1128/cmr.9.2.235>
- Fang, W., Wu, J., Cheng, M., Zhu, X., Du, M., Chen, C., Liao, W., Zhi, K., & Pan, W. (2023). Diagnosis of invasive fungal infections: challenges and recent developments. *J Biomed Sci*, 30(1), 1–35. <https://doi.org/10.1186/s12929-023-00926-2>

- Fisher, M. C., Gurr, S. J., Cuomo, C. A., Blehert, D. S., Jin, H., Stukenbrock, E. H., Stajich, J. E., Kahmann, R., Boone, C., Denning, D. W., Gow, N. A. R., Klein, B. S., Kronstad, J. W., Sheppard, D. C., Taylor, J. W., Wright, G. D., Heitman, J., Casadevall, A., & Cowen, L. E. (2020). Threats posed by the fungal kingdom to humans, wildlife, and agriculture. *MBio*, *11*(3), 1–17. <https://doi.org/10.1128/mBio.00449-20>
- Hieu, V. N., Le Hiep, N., Hang, L. M., Lau-Goodchild, B. A., Van Duong, N., Linh, N. T., Beardsley, J., & Dat, V. Q. (2024). Mycology laboratory diagnostic capacity for invasive fungal diseases in public hospitals in Vietnam. *Med Mycol*, *62*(8), 0–3. <https://doi.org/10.1093/mmy/myae082>
- Hoffman, J. J., Yadav, R., Sanyam, S. Das, Chaudhary, P., Roshan, A., Singh, S. K., Arunga, S., Hu, V. H., Macleod, D., Leck, A., & Burton, M. J. (2022). Diagnosis of fungal keratitis in low-income countries: Evaluation of smear microscopy, culture, and in vivo confocal microscopy in Nepal. *J Fungi*, *8*(9), 1–12. <https://doi.org/10.3390/jof8090955>
- Jenks, J. D., Gangneux, J. P., Schwartz, I. S., Alastruey-Izquierdo, A., Lagrou, K., Thompson, G. R., Lass-Flörl, C., Hoenigl, M., Adamski, Z., Arikan Akdagli, S., Arsic-Arsenijevic, V., Cornely, O. A., Friberg, N., Gow, N., Hadina, S., Hamal, P., Juerna-Ellam, M., Klimko, N., Klingspor, L., ... Verweij, P. (2020). Diagnosis of breakthrough fungal infections in the clinical mycology laboratory: An ecmm consensus statement. *J Fungi*, *6*(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/jof6040216>
- Lass-Flörl, C., & Steixner, S. (2023). The changing epidemiology of fungal infections. *MolAspects Med*, *94*(October), 101215. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2023.101215>
- Little, J., Rauseo, A. M., Zuniga-Moya, J. C., Spec, A., Pappas, P., Perfect, J., McCarthy, T., & Schwartz, I. S. (2024). Clinical Mycology Today: Emerging Challenges and Opportunities. *Open Forum Infect Dis*, *11*(7), 1–9. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofae363>
- Mendonça, A., Santos, H., Franco-duarte, R., & Sampaio, P. (2022). Fungal infections diagnosis e Past, present and future. *Res Microbiol*, *173*(3), 103915. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2021.103915>
- Paterson, R. R. M., Solaiman, Z., & Santamaria, O. (2023). Guest edited collection: fungal evolution and diversity. *Scie Rep*, *13*(1), 21438. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48471-0>

- Pemán, J., & Ruiz-Gaitán, A. (2025). Diagnosing invasive fungal infections in the laboratory today: It's all good news? *Rev Iberoam Micol*, *S1130-1406*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2025.01.004>
- Robert, M. G., Cornet, M., Hennebique, A., Rasamoelina, T., Caspar, Y., Pondérand, L., Bidart, M., Durand, H., Jacquet, M., Garnaoud, C., & Maubon, D. (2021). Maldi-tof ms in a medical mycology laboratory: On stage and backstage. *Microorganisms*, *9*(6), 1–16. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061283>
- Salmanton-García, J., Au, W. Y., Hoenigl, M., Chai, L. Y. A., Badali, H., Basher, A., Brockhoff, R. A., Chen, S. C. A., Chindamporn, A., Chowdhary, A., Heath, C. H., Jabeen, K., Lee, J., Matar, M., Taj-Aldeen, S. J., Tan, B. H., Uno, K., Wahyuningsih, R., Zhu, L., ... Cornely, O. A. (2023). The current state of laboratory mycology in Asia/Pacific: A survey from the European Confederation of Medical Mycology (ECMM) and International Society for Human and Animal Mycology (ISHAM). *Int J Antimicrob Agents*, *61*(3), 106718. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2023.106718>
- Schelenz, S., Owens, K., Guy, R., Rautemaa-Richardson, R., Manuel, R. J., Richardson, M., Moore, C., Enoch, D. A., Micallef, C., Howard, P., Agrawal, S. G., Johnson, E. M., & Muller-Pebody, B. (2019). National mycology laboratory diagnostic capacity for invasive fungal diseases in 2017: Evidence of sub-optimal practice. *J Infect*, *79*(2), 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2019.06.009>
- Seth, R., Xess, I., & Jana, M. (2019). Diagnosis of Invasive Fungal Infections in Children. *Indian Pediatr*, *56*(3), 229–236. <https://doi.org/10.1007/s13312-019-1505-7>
- Teles, F., & Seixas, J. (2015). The future of novel diagnostics in medical mycology. *J Med Microbiol*, *64*(4), 315–322. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.082297-0>
- Thompson, G. R., Le, T., Chindamporn, A., Kauffman, C. A., Alastruey-Izquierdo, A., Ampel, N. M., Andes, D. R., Armstrong-James, D., Ayanlowo, O., Baddley, J. W., Barker, B. M., Lopes Bezerra, L., Buitrago, M. J., Chamani-Tabriz, L., Chan, J. F. W., Chayakulkeeree, M., Cornely, O. A., Cunwei, C., Gangneux, J. P., ... Pasqualotto, A. C. (2021). Global guideline for the diagnosis and management of the endemic mycoses: an initiative of the European Confederation of Medical Mycology in cooperation with the International Society for Human and Animal Mycology. *Lancet Infect Dis*, *21*(12), e364-74. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00191-2)

- Todd, J. R., Matsumoto, T., Ueno, R., Murugaiyan, J., Britten, A., King, J. W., Odaka, Y., Oberle, A., Weise, C., Roesler, U., & Pore, R. S. (2018). Medical mycology 2017. *Med Mycol*, 56(1), S188-204. <https://doi.org/10.1093/mmy/myx162>
- Urban, K., Chu, S., Scheufele, C., Giesey, R. L., Mehrmal, S., Uppal, P., & Delost, G. R. (2021). The global, regional, and national burden of fungal skin diseases in 195 countries and territories: A cross-sectional analysis from the Global Burden of Disease Study 2017. *JAAD International*, 2, 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.jdin.2020.10.003>
- Wahyuningsih, R., Adawiyah, R., Sjam, R., Prihartono, J., Ayu Tri Wulandari, E., Rozaliyani, A., Ronny, R., Imran, D., Tugiran, M., Siagian, F. E., & Denning, D. W. (2021). Serious fungal disease incidence and prevalence in Indonesia. *Mycoses*, 64(10), 1203–1212. <https://doi.org/10.1111/myc.13304>
- Wickes, B. L., & Wiederhold, N. P. (2018). Molecular diagnostics in medical mycology. *Nat Commun*, 9(1), 5135. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07556-5>
- Wiegand, C., Bauer, A., Brasch, J., Nenoff, P., Schaller, M., Mayser, P., Hipler, U. C., & Elsner, P. (2016). Are the classic diagnostic methods in mycology still state of the art? *J Dtsch Dermatol Ges*, 14(5), 490–494. <https://doi.org/10.1111/ddg.12980>
- World Health Organization. (2022). WHO fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action. In *World Health organization* (Vol. 1).
- Xu, J. (2020). Fungal species concepts in the genomics era. *Genome*, 63(9), 459–468. <https://doi.org/10.1139/gen-2020-0022>

BIODATA PENULIS



dr. Ronny, Sp.Par.K. Lahir di Jakarta, pada 12 April 1978. Mendapatkan gelar Dokter Umum dari Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Indonesia pada tahun 2003 kemudian melanjutkan studi Program Studi Dokter Spesialis Parasitologi Klinik di Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia dan lulus di tahun 2017. Anak dari (alm) Dede Prawira dan Janti Sutantri, saat ini bekerja sebagai dosen di Bagian Parasitologi Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Indonesia. Sebelumnya bertugas di Puskesmas Werang, kec. Sano Nggoang dan Puskesmas Orong kec. Welak, Kabupaten Manggarai Barat, Nusa Tenggara Timur. Selain itu aktif sebagai asesor akreditasi laboratorium kesehatan sejak 2017.