



FROM ENVIRONMENT TO LUNG: A LITERATURE REVIEW ON EXPOSURE RISK FACTORS AND PREVENTION OF ASPERGILLOSIS

DARI LINGKUNGAN KE PARU: TINJAUAN LITERATUR TENTANG FAKTOR RISIKO PAPAN DAN PENCEGAHAN ASPERGILLOSIS

Asriyani Abdullah ¹⁾; Insani Fitrahulil Jannah ²⁾; Elfira Buamona ³⁾

¹⁾ asriyaniabd.work@gmail.com, Universitas Khairun

²⁾ insani.jannah@staf.undana.ac.id, Universitas Nusa Cendana

³⁾ elfirabuamona@unkhair.ac.id, Universitas Khairun

Abstract

Aspergillosis comprises a spectrum of pulmonary diseases caused by inhalation of Aspergillus spores from the environment in individuals with immunological vulnerability or structural lung damage. This review summarizes major environmental sources of exposure (soil, compost, hospital ventilation and water systems, and construction activities), key host and environmental risk factors, and environmental and clinical prevention strategies. Multiple studies report increased airborne spore counts and higher incidence of invasive aspergillosis among haematology patients during hospital construction when protective ventilation and HEPA filtration are insufficient. Principal host risk factors include prolonged neutropenia, haematological malignancies, transplantation, immunosuppressive therapy, post-tuberculosis cavities, severe COPD, and other chronic lung diseases. Climate change and natural disasters are thought to enhance the distribution of airborne fungal spores, although quantitative data specifically linking these events to aspergillosis remain limited. Effective prevention requires an integrated approach combining environmental control, targeted antifungal prophylaxis, screening in patients with structural lung disease, patient education, and stewardship to address azole resistance within a One Health framework.

Keywords: *Aspergillosis; Aspergillus fumigatus; Environmental risk factors; Hospital construction; One Health*

Abstrak

Aspergilosis adalah spektrum penyakit paru akibat inhalasi spora *Aspergillus* dari lingkungan pada individu dengan kerentanan imunologis atau kelainan struktural paru. Tinjauan ini merangkum sumber paparan utama (tanah, kompos, ventilasi dan air rumah sakit, serta aktivitas konstruksi), faktor risiko host dan lingkungan, serta intervensi pencegahan berbasis lingkungan dan klinis. Berbagai studi menunjukkan peningkatan konsentrasi spora dan kejadian aspergilosis invasif pada pasien hematologi selama fase konstruksi ketika ventilasi protektif dan filtrasi HEPA tidak memadai. Faktor risiko host utama meliputi neutropenia, keganasan hematologi, transplantasi, penggunaan imunosupresan, kavitas pasca-TB, PPOK berat, dan penyakit paru kronik lain. Perubahan iklim dan bencana alam diduga meningkatkan distribusi spora jamur, namun data kuantitatif spesifik aspergilosis masih terbatas. Pencegahan efektif memerlukan kombinasi kontrol lingkungan, profilaksis antijamur selektif, skrining pada penyakit paru struktural, edukasi pasien, serta pengendalian resistensi azol dalam kerangka One Health

Kata kunci: *Aspergilosis; Aspergillus fumigatus; Faktor risiko lingkungan; Konstruksi rumah sakit; One Health*

PENDAHULUAN

Aspergilosis adalah spektrum penyakit yang disebabkan oleh jamur filamentosa *Aspergillus* spp., terutama *Aspergillus fumigatus*, yang dapat menimbulkan manifestasi klinis mulai dari alergi hingga infeksi invasif berat (Bassetti et al., 2022; Siregar, 2016). Jamur *Aspergillus* ditemukan secara luas pada tanah, debu, bahan organik yang membusuk, bangunan lembap, serta sistem ventilasi di lingkungan rumah maupun rumah sakit (Bassetti et al., 2022; Poltekkes Denpasar, 2013). Spora *Aspergillus* berukuran kecil (sekitar 2–3 µm), sehingga mudah tersebar di udara dan mencapai alveolus ketika dihirup, menjadikannya patogen respiratori yang sangat bergantung pada kualitas udara (Bassetti et al., 2022; Madden et al., 2025). Pada individu imunokompeten, mekanisme pembersihan mukosiliar dan fagositosis makrofag alveolar umumnya mampu mengeliminasi spora yang terhirup sehingga tidak terjadi penyakit (Siregar, 2016; Latgé & Chamilos 2020). Sebaliknya, pada individu dengan gangguan



imunitas atau penyakit paru struktural, spora yang mencapai alveolus dapat berkecambah menjadi hifa dan menyebabkan aspergilosis invasif, aspergilosis paru kronik, atau aspergilloma (Bassetti et al., 2022; Madden et al., 2025).

Dalam dua dekade terakhir, insiden aspergilosis meningkat sejalan dengan bertambahnya jumlah pasien dengan keganasan hematologi, penerima transplantasi organ solid dan sel punca, serta pengguna obat immunosupresif dan kortikosteroid dosis tinggi (Bassetti et al., 2022). Perkembangan terapi modern, penuaan populasi, serta peningkatan beban penyakit kronik paru seperti tuberkulosis (TB) dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) juga berkontribusi pada meningkatnya populasi berisiko aspergilosis (Madden et al., 2025; Kovesdy, 2019). Selain faktor host, bukti ilmiah menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti pekerjaan konstruksi rumah sakit, ventilasi yang tidak adekuat, dan konsentrasi spora jamur di udara merupakan penentu penting terjadinya aspergilosis, terutama pada pasien dengan neoplasma hematologic (Puglia et al., 2024; Bamber et al., 2025). Tinjauan sistematik terbaru menekankan bahwa strategi pencegahan efektif memerlukan pendekatan komprehensif yang menggabungkan kontrol lingkungan, tindakan pencegahan infeksi nosokomial, profilaksis antijamur pada kelompok risiko tinggi, serta edukasi untuk mengurangi paparan di komunitas (Puglia et al., 2024).

Artikel ini bertujuan meninjau bukti terkini mengenai sumber dan jalur paparan *Aspergillus* dari lingkungan ke paru, faktor risiko host dan lingkungan untuk berbagai bentuk aspergilosis, intervensi pencegahan berbasis lingkungan di fasilitas pelayanan kesehatan dan komunitas, serta kesenjangan pengetahuan yang masih ada.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan *literature review* yang bertujuan untuk mengumpulkan, merangkum, dan menganalisis berbagai artikel ilmiah yang membahas tentang Aspergilosis dari lingkungan. Proses pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui beberapa database ilmiah nasional dan internasional yang kredibel, seperti *PubMed Central (PMC)*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *Google Scholar*. Pencarian dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean seperti: "*Aspergilosis*" OR "*Aspergillus spp*" AND ("*Aspergillus in environment*" OR "*Clinical spektrum*" OR "*Risk factors*" OR "*prevention*" OR "), baik dalam bahasa Inggris maupun Indonesia, dengan mempertimbangkan kesesuaian pada judul, abstrak, dan kata kunci artikel.

Literatur yang dianalisis dibatasi pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2002 hingga 2026. Kriteria inklusi dalam tinjauan ini mencakup artikel yang membahas langsung tentang Aspergilosis dan topik-topik terkait seperti paparan *Aspergillus* di lingkungan, spektrum klinis, faktor risiko, dan pencegahan; ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia; serta dipublikasikan dalam jurnal ilmiah bereputasi nasional maupun internasional. Jenis artikel yang dimasukkan mencakup artikel penelitian asli, riviui sistematik, dan meta-analisis. Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak tersedia dalam format full-text, artikel non-ilmiah seperti editorial, opini, atau surat pembaca. Artikel yang tidak memiliki metodologi yang jelas, tidak melewati proses *peer-review*, atau mengandung data yang tidak valid juga tidak dimasukkan dalam analisis.

Seluruh artikel yang diperoleh diseleksi berdasarkan kriteria tersebut dan dibaca secara menyeluruh oleh penulis. Informasi penting dari tiap artikel kemudian dirangkum, dianalisis, dan dibandingkan untuk mengidentifikasi temuan-temuan kunci, perbedaan pendapat, serta tren penelitian terkini terkait faktor risiko dan pencegahan Aspergilosis. Hasil dari tinjauan ini disusun dalam format naratif untuk memberikan pemahaman menyeluruh dan berbasis bukti terhadap faktor risiko dan pencegahan Aspergilosis dari lingkungan.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Paparan Lingkungan *ASPERGILLUS*

Survei ekologi menunjukkan bahwa *Aspergillus* spp. banyak ditemukan pada tanah, kompos, jerami, biji-bijian, pakan ternak, dan debu bangunan, dengan konsentrasi spora yang bervariasi menurut kelembapan, suhu, dan aktivitas manusia (Siregar F, 2016; Poltekkes Denpasar, 2013). Studi klasik mengenai sumber lingkungan *Aspergillus* di fasilitas kesehatan menegaskan bahwa sistem ventilasi, jaringan pipa air, dan debu di sekitar area konstruksi dapat menjadi reservoir spora yang bermakna secara klinis (Bamber et al., 2025). Anaissie dkk mendokumentasikan bahwa air dan sistem distribusinya di rumah sakit dapat terkontaminasi spora *Aspergillus*, yang kemudian menyebar ke udara melalui aerosol dan uap air (Anaissie et al., 2002). Warris dan Verweij, dalam ulasan mengenai implikasi klinis sumber lingkungan *Aspergillus*, menyatakan bahwa pemahaman tentang reservoir lingkungan dan jalur transmisi sangat penting untuk merancang strategi pencegahan yang efektif (Warris & Verweij, 2005).

Di rumah sakit, sumber utama spora *Aspergillus* adalah area konstruksi atau renovasi, material bangunan, dan akumulasi debu di saluran udara serta permukaan di sekitar pasien (Puglia et al., 2024; Anaissie et al., 2002). Tinjauan Puglia dkk. terhadap pasien dengan keganasan hematologi menemukan bahwa semua studi yang diinklusi melaporkan adanya peningkatan jumlah jamur udara selama fase konstruksi atau renovasi dibanding fase tanpa kegiatan tersebut. Studi epidemiologis yang dikaji dalam tinjauan tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi spora jamur di udara berkorelasi dengan lonjakan insiden aspergilosis invasif pada pasien hematologi ketika kontrol lingkungan tidak optimal (Puglia et al., 2024). Di luar fasilitas kesehatan, aktivitas seperti berkebun, bekerja dengan kompos, atau paparan debu organik dalam jumlah besar di silo gandum atau fasilitas pertanian juga dilaporkan meningkatkan pajanan spora *Aspergillus* pada individu imunokompromais (Siregar, 2016).

Perubahan iklim dan bencana alam juga diperkirakan memengaruhi distribusi spora jamur di lingkungan, meskipun hubungan langsung dengan aspergilosis masih terus diteliti. Beberapa laporan mengindikasikan bahwa kejadian kebakaran hutan, badai debu, dan banjir besar dapat meningkatkan konsentrasi spora jamur di udara, yang secara teoritis dapat memicu peningkatan infeksi jamur, termasuk aspergilosis, pada kelompok rentan. Namun, bukti kuantitatif tentang hubungan kausal langsung antara kejadian iklim ekstrem dan insiden aspergilosis masih terbatas dan memerlukan studi kohort berskala besar (Poltekkes Denpasar, 2013, Seidel et al., 2024).

Faktor Risiko Host dan Bentuk Klinis Aspergilosis

Spektrum Klinis Aspergilosis

Aspergilosis secara klinis dibagi menjadi beberapa bentuk utama, yakni aspergilosis alergi (misalnya allergic bronchopulmonary aspergillosis/ABPA), aspergilosis invasif (invasive aspergillosis/IA), aspergilosis paru kronik (chronic pulmonary aspergillosis/CPA), dan aspergiloma. Aspek patogenesis, manifestasi klinis, dan penatalaksanaan masing-masing entitas klinis ini berbeda, walaupun jalur paparan spora yang mendasari sama-sama melalui inhalasi (Bassetti et al., 2022; Madden et al., 2025).

Aspergilosis Invasif

Aspergilosis invasif merupakan bentuk yang paling berat dan terutama terjadi pada pasien dengan neutropenia berat dan berkepanjangan, keganasan hematologi, penerima transplantasi sel punca hematopoietik atau organ solid, serta pengguna kortikosteroid dosis tinggi atau agen immunosupresif lainnya (Bassetti et al., 2022). Puglia dkk dalam tinjauan sistematis kualitatif pada pasien hematologi melaporkan bahwa neutropenia, anemia, lama rawat inap, serta tidak adanya kontrol lingkungan yang memadai (misalnya HEPA, tekanan



positif) merupakan faktor risiko independen untuk IA (Puglia et al., 2024).

Aspergilosis Paru Kronik dan Aspergiloma

Chronic pulmonary aspergillosis biasanya terjadi pada individu dengan penyakit paru struktural, terutama kavitas residu tuberkulosis, bronkiektasis, PPOK berat, dan kavitas pasca kanker paru (Madden et al., 2025). Madden dkk, dalam tinjauan sistematik dan meta-analisis global, memperkirakan bahwa 9–13% pasien dengan kavitas pasca-TB akan mengembangkan CPA selama beberapa tahun setelah pengobatan TB, yang menunjukkan beban penyakit yang signifikan di negara endemik TB (Madden et al., 2025). Ulasan klinis oleh Kousha dkk, menjelaskan bahwa aspergilloma bola jamur yang mengisi kavitas paru sering kali berkembang pada kavitas TB lama dan dapat menyebabkan hemoptisis rekuren yang mengancam jiwa. Mereka melaporkan bahwa sekitar 10% kavitas TB dapat berkembang menjadi aspergiloma, dengan risiko tertinggi pada kavitas besar dan multilocular (Kousha et al., 2011).

Faktor Risiko Lain

Khan dkk, dalam tinjauan komprehensif tentang distribusi spesies *Aspergillus* di Tiongkok, menunjukkan bahwa selain faktor klasik, penggunaan antibiotik spektrum luas, terapi immunosupresif, dan beban rumah sakit yang tinggi juga berkontribusi terhadap meningkatnya aspergilosis, seringkali sebagai koinfeksi dengan patogen bakteri atau virus. Reviu tersebut melaporkan bahwa usia lanjut, kanker paru, PPOK, dan penyakit paru interstisial merupakan faktor risiko penting untuk aspergilosis paru pada pasien Tiongkok, yang kemungkinan mencerminkan tren global (Khan et al., 2024). Secara keseluruhan, temuan-temuan ini menggarisbawahi bahwa aspergilosis adalah hasil interaksi kompleks antara paparan lingkungan, status imun host, dan penyakit dasar paru (Bassetti et al., 2022; Madden et al., 2025; Khan et al., 2024).

Faktor Risiko Lingkungan di Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Konstruksi, Renovasi, dan Kualitas Udara

Analisis literatur oleh Puglia dkk. menunjukkan bahwa kurangnya kontrol lingkungan yang adekuat terutama selama renovasi atau konstruksi rumah sakit berkaitan erat dengan peningkatan insiden aspergilosis invasif pada pasien hematologic. Dalam tinjauan tersebut, hampir semua studi melaporkan adanya peningkatan kadar spora jamur di udara selama fase konstruksi atau penggalian, yang diikuti oleh peningkatan kejadian aspergilosis jika tidak ada intervensi lingkungan yang memadai. Studi-studi yang ditelaah melaporkan bahwa pengurangan area konstruksi, penggunaan tekanan negatif di area kerja, dan pemisahan jalur transportasi material dari area klinis dapat mengurangi kontaminasi debu dan spora di bangsal pasien (Puglia et al., 2024; Anaissie et al., 2002).

Beberapa laporan wabah menunjukkan bahwa renovasi tanpa perencanaan pencegahan infeksi yang baik menyebabkan kluster kasus aspergilosis invasif pada pasien neutropenia, yang dapat dihentikan setelah penerapan kontrol debu dan pemasangan filtrasi HEPA (Anaissie et al., 2002; Warris & Verweij, 2005). Anaissie dkk. mencatat bahwa selain debu, sistem air rumah sakit yang terganggu selama pekerjaan konstruksi dapat menjadi sumber aerosol *Aspergillus*, sehingga pengawasan terhadap distribusi air dan pancaran aerosol juga diperlukan (Anaissie et al., 2002). Temuan-temuan ini menegaskan bahwa manajemen proyek konstruksi harus mempertimbangkan risiko mikologis, terutama di rumah sakit yang merawat pasien dengan gangguan imun berat (Puglia et al., 2024; Anaissie et al., 2002; Warris & Verweij, 2005).

Variasi dan Keterbatasan Panduan

Bamber dkk, menelaah 75 dokumen panduan nasional dan internasional yang bertujuan mengurangi risiko aspergilosis terkait pelayanan kesehatan dan menemukan variasi luas dalam rekomendasi terkait ventilasi, filtrasi udara, pemantauan spora, dan penilaian risiko konstruksi. Mereka mengelompokkan panduan ke dalam tiga kategori utama, yaitu panduan klinis, panduan pengendalian infeksi, dan panduan terkait bangunan, serta mencatat bahwa sebagian besar



menekankan pentingnya penggunaan HEPA dan kontrol debu tetapi jarang menyebutkan ambang batas jumlah konsentrasi konidia yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa kurangnya harmonisasi dan bukti kuantitatif kuat membuat implementasi pencegahan aspergilosis sangat heterogen antar negara dan institusi (Bamber et al., 2025)

Intervensi Pencegahan Berbasis Lingkungan

Ventilasi Protektif dan Filtrasi Udara

Puglia dkk. melaporkan bahwa kontrol lingkungan melalui ventilasi protektif dengan filtrasi HEPA, sistem laminar air flow (LAF), dan unit filtrasi udara mobile merupakan strategi pencegahan yang paling konsisten dikaitkan dengan penurunan insiden aspergilosis invasif pada pasien hematologi. Dalam analisis mereka, unit yang dilengkapi HEPA dan tekanan positif menunjukkan insiden aspergilosis lebih rendah dibandingkan unit tanpa perlindungan tersebut, terutama selama fase konstruksi rumah sakit. Namun, penulis juga mencatat bahwa efektivitas LAF di bangsal hematologi tidak selalu konsisten dan dapat bergantung pada desain ruangan, kecepatan aliran udara, serta perilaku staf dan pasien (Puglia et al., 2024).

Riviu naratif mengenai pencegahan infeksi jamur selama konstruksi rumah sakit menyimpulkan bahwa HEPA dan LAF menurunkan konsentrasi spora jamur di udara, tetapi keberhasilan program bergantung pada pemeliharaan rutin, pemantauan, dan integrasi dengan strategi kontrol debu lainnya. Akan tetapi HEPA tidak boleh dianggap sebagai satu-satunya intervensi, tetapi harus dikombinasikan dengan isolasi fisik area konstruksi, penetapan rute lalu lintas khusus, dan pembersihan intensif di sekitar pasien berisiko tinggi (Mareković, 2023).

Manajemen Konstruksi dan Debu

Panduan dari Health Protection Surveillance Centre (HPSC) di Irlandia menyarankan empat pilar utama pencegahan aspergilosis selama pekerjaan konstruksi, yaitu pengurangan area kerja dengan penghalang kedap, penerapan tekanan negatif di zona konstruksi, penggunaan rute khusus untuk pengangkutan material dan limbah, serta pembersihan rutin menggunakan vacuum berfitur HEPA di area sekitar pasien. HPSC juga merekomendasikan pemindahan pasien berisiko tinggi ke kamar dengan tekanan positif dan filtrasi HEPA, serta penggunaan masker respirator partikel bagi pasien yang harus melewati area konstruksi. Panduan tersebut didasarkan pada bukti epidemiologis yang menunjukkan penurunan kejadian aspergilosis setelah implementasi langkah-langkah tersebut di berbagai rumah sakit (HPSC, 2018).

Monitoring Lingkungan

Meskipun beberapa rumah sakit melakukan pemantauan rutin spora udara dan kultur permukaan, bukti mengenai hubungan langsung antara angka spora dan kejadian aspergilosis masih heterogen. Riviu terbaru menunjukkan bahwa pengukuran serial dapat membantu mendeteksi lonjakan kontaminasi selama konstruksi dan menilai efektivitas intervensi lingkungan, tetapi belum ada *cut-off* universal yang disepakati untuk memicu tindakan tertentu. Oleh karena itu, banyak panduan menyarankan kombinasi pemantauan lingkungan dengan surveilans klinis proaktif pada pasien berisiko (Puglia et al., 2024).

Pencegahan Klinis dan Strategi Pada Host

Profilaksis Antijamur dan Strategi Host-directed

Dalam tinjauan Puglia dkk., profilaksis antijamur dilaporkan sebagai intervensi pencegahan yang paling sering diimplementasikan bersama kontrol infeksi, tetapi tidak selalu menunjukkan penurunan insiden aspergilosis invasif bila tidak disertai kontrol lingkungan yang memadai. Mereka menyimpulkan bahwa profilaksis antijamur harus dipandang sebagai suatu intervensi komplementer yang menurunkan risiko progresi infeksi pada host berisiko, namun tidak dapat menggantikan kebutuhan untuk meminimalkan paparan spora di lingkungan (Puglia et al., 2024).

Pada pasien dengan kavitas pasca-TB atau penyakit paru kronik, fokus utama pencegahan adalah deteksi dini CPA dan aspergiloma melalui kombinasi evaluasi gejala



respiratori kronik, imaging toraks, dan uji serologi *Aspergillus*, disertai tata laksana TB yang adekuat untuk mencegah pembentukan kavitas residu (Madden et al., 2025; Kousha et al., 2011). Madden dkk mengusulkan integrasi skrining CPA ke dalam program TB nasional di negara endemik untuk menurunkan morbiditas respiratori jangka panjang, mengingat tingginya prevalensi CPA pada pasien TB yang masih bergejala setelah pengobatan (Madden et al., 2025).

Edukasi Pasien dan Strategi Komunitas

Untuk pasien imunokompromais yang dirawat di rumah atau setelah pulang dari rumah sakit, edukasi mengenai penghindaran paparan lingkungan berat (misalnya bekerja dengan kompos, renovasi rumah tanpa perlindungan, penggunaan humidifier yang kotor) menjadi komponen penting pencegahan. Beberapa panduan juga menganjurkan penggunaan masker respirator partikel (misalnya N95) saat pasien harus melewati area konstruksi atau lingkungan dengan debu tinggi (Jenks & Tobin, 2026).

Resistensi Azol dan Perspektif One Health

Laporan *European Food Safety Authority* (EFSA) menyatakan bahwa *A. fumigatus* dapat mengembangkan resistensi terhadap fungisida azol yang digunakan secara luas di bidang pertanian, dan isolat resisten tersebut telah diidentifikasi pada pasien yang tidak pernah menerima terapi azol sebelumnya. EFSA menyimpulkan bahwa penggunaan fungisida azol di lingkungan agrikultur berkontribusi terhadap munculnya strain *A. fumigatus* resisten azol yang dapat mengurangi efektivitas terapi azol medis pada aspergilosis. Fenomena ini mengaburkan batas antara sumber paparan lingkungan dan nosokomial, serta menunjukkan bahwa kebijakan penggunaan fungisida di sektor pertanian perlu dikaitkan dengan strategi pengendalian resistensi antijamur di sektor kesehatan manusia (EFSA, 2025).

Konsep *One Health* menekankan bahwa kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan saling terkait, dan laporan EFSA menempatkan resistensi azol pada *Aspergillus* sebagai contoh nyata masalah *One Health*. Pendekatan ini menuntut kolaborasi lintas sektor untuk memantau resistensi antijamur pada isolat klinis dan lingkungan, mengatur penggunaan fungisida, serta mengembangkan panduan terapi yang mempertimbangkan sumber paparan lingkungan (EFSA, 2025).

Tantangan Dan Arah Penelitian Ke Depan

Puglia dkk. menyoroti bahwa masih belum ada kesepakatan global mengenai ambang batas konsentrasi konidia *Aspergillus* di udara yang dapat dianggap “aman” untuk berbagai kelompok pasien. Mereka juga mencatat bahwa desain studi yang heterogen, ukuran sampel yang terbatas, dan perbedaan metode pemantauan lingkungan menyulitkan penarikan kesimpulan kuantitatif mengenai hubungan antara konsentrasi spora dan kejadian aspergilosis (Puglia et al., 2024). Bamber dkk. menambahkan bahwa variasi besar antar panduan nasional dan internasional mengakibatkan praktik pencegahan aspergilosis sangat bervariasi, sehingga diperlukan upaya harmonisasi berbasis bukti (Bamber et al., 2025).

Khan dkk. menggarisbawahi bahwa data mengenai aspergilosis dari negara berpendapatan rendah dan menengah masih terbatas, padahal beban TB dan penyakit paru kronik di wilayah tersebut tinggi sehingga kemungkinan beban CPA dan aspergiloma juga besar namun kurang terdiagnosis (Khan et al., 2024). Madden dkk menekankan perlunya penelitian prospektif di negara endemik TB untuk memperkirakan beban CPA dan menilai efektivitas integrasi skrining CPA ke dalam program TB (Madden, 2025). Secara keseluruhan, literatur menunjukkan kebutuhan akan studi prospektif berskala besar yang menggabungkan pemantauan lingkungan, karakterisasi host, data resistensi antijamur, dan luaran klinis dalam kerangka *One Health*.

PENUTUP

Aspergilosis merupakan hasil interaksi kompleks antara paparan spora *Aspergillus* di



lingkungan dan kerentanan host, terutama pada pasien dengan gangguan imun atau penyakit paru struktural. Bukti terkini menegaskan bahwa faktor risiko utama mencakup neutropenia, keganasan hematologi, transplantasi, penggunaan immunosupresan, kavitas pasca-TB, PPOK berat, serta paparan lingkungan tinggi selama konstruksi dan renovasi rumah sakit tanpa kontrol ventilasi adekuat. Intervensi pencegahan yang paling efektif adalah kombinasi pengendalian lingkungan (HEPA, tekanan positif, manajemen debu), profilaksis antijamur pada kelompok risiko sangat tinggi, skrining aktif pada pasien dengan penyakit paru struktural, serta edukasi pasien untuk mengurangi paparan di rumah dan komunitas.

Munculnya resistensi azol yang didorong oleh penggunaan fungisida di sektor pertanian menambah kompleksitas pengendalian aspergilosis dan menuntut pendekatan One Health yang mengintegrasikan kebijakan lingkungan, pertanian, dan kesehatan manusia. Penelitian lebih lanjut yang mengkombinasikan epidemiologi klinis, pemantauan lingkungan, dan surveilans resistensi antijamur sangat diperlukan untuk memutus mata rantai perjalanan “dari lingkungan ke paru” pada kelompok paling rentan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bassetti, M., Peghin, M., & Vena, A. (2022). Aspergillosis. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Siregar, F. (2016). Mengenal aspergillosis, infeksi jamur genus *Aspergillus* spp. *Jurnal Kedokteran*, 9 (2), 45–52.
- Poltekkes Denpasar. (2023). *BAB II Tinjauan Pustaka: Aspergilosis*. Denpasar: Repository Poltekkes Denpasar.
- Madden, A. E., Ofori, S. K., Budu, M., Sisay, E., Dooley, B., & Murray, M. B. (2025). A Systematic Review of Chronic Pulmonary Aspergillosis Among Patients Treated for Pulmonary Tuberculosis. *Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 81(4), e163–e171. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaf150>
- Latgé, J. P., & Chamilos, G. (2020). *Aspergillus fumigatus* and aspergillosis in 2019. *Clinical Microbiology Reviews*, 33(1), e00140-18.
- Seidel, D., Wurster, S., Jenks, J. D., Sati, H., Gangneux, J. P., Egger, M., Alastruey-Izquierdo, A., Ford, N. P., Chowdhary, A., Sprute, R., Cornely, O., Thompson, G. R., 3rd, Hoenigl, M., & Kontoyiannis, D. P. (2024). Impact of climate change and natural disasters on fungal infections. *The Lancet. Microbe*, 5(6), e594–e605. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(24\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(24)00039-9)
- Kovesdy C. P. (2022). Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney international supplements*, 12(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.kisu.2021.11.003>
- Raposo Puglia, D., Raposo Puglia, J. Á., García-Cabrera, E., Morales, F., Camacho-Vega, J. C., & Vilches-Arenas, Á. (2024). Risk Factors and Environmental Preventive Actions for Aspergillosis in Patients with Hematological Malignancies. *Clinics and practice*, 14(1), 280–292. <https://doi.org/10.3390/clinpract14010022>
- Bamber, S., Haiduven, D., & Denning, D. W. (2025). Survey of current national and international guidance to reduce risk of aspergillosis in hospitals. *The Journal of hospital infection*, 159, 124–139. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.02.015>
- Anaissie, E. J., Stratton, S. L., Dignani, M. C., Summerbell, R. C., Rex, J. H., Monson T. P., Spencer, T., Kasai, M., Francesconi, A., Walsh, T. J. (2002). Pathogenic *Aspergillus* Species Recovered from a Hospital Water System: A 3-Year Prospective Study. *Clinical Infectious Diseases*, 34(6), 780–789.



- Warris, A., & Verweij, P. E. (2005). Clinical implications of environmental sources for *Aspergillus*. *Medical mycology*, *43* Suppl 1, S59–S65. <https://doi.org/10.1080/13693780400025260>
- Kousha, M., Tadi, R., & Soubani, A. O. (2011). Pulmonary aspergillosis: a clinical review. *European respiratory review: an official journal of the European Respiratory Society*, *20*(121), 156–174. <https://doi.org/10.1183/09059180.00001011>
- Khan, S., Bilal, H., Shafiq, M., Zhang, D., Awais, M., Chen, C., Khan, M. N., Wang, Q., Cai, L., Islam, R., & Zeng, Y. (2024). Distribution of *Aspergillus* species and risk factors for aspergillosis in mainland China: a systematic review. *Therapeutic advances in infectious disease*, *11*, 20499361241252537. <https://doi.org/10.1177/2049936124125253>
- Mareković I. (2023). What's New in Prevention of Invasive Fungal Diseases during Hospital Construction and Renovation Work: An Overview. *Journal of fungi (Basel, Switzerland)*, *9*(2), 151. <https://doi.org/10.3390/jof9020151>
- Health Protection Surveillance Centre. (2018). *Preventing Aspergillus infection during hospital construction work*. Dublin: HPSC.
- European Food Safety Authority. (2025). Azole resistance in *Aspergillus* spp.: Impact on human and animal health. *EFSA Journal*, *23*(1), e07999.
- Jenks J., & Tobin E. H. Aspergillosis. [Updated 2026 Feb 15]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482241/>