JURNAL BIOLOGI UDAYANA

P-ISSN: 1410-5292 E-ISSN: 2599-2856

Volume 29 | Nomor 1 | Juni 2025

DOI: https://doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2025.v29.i01.p04

Aktivitas antimikroba dan antioksidan ekstrak metanol jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Amed dan Tulamben

Antimicrobial and antioxidant activity of methanolic extracts of seawater-derived fungi isolated from Amed and Tulamben Beaches

Ni Kadek Dwijayanti^{1,} Ni Made Widya Wulandari¹, Ni Putu Ananda Eka Putri¹, Ni Putu Eka Leliqia¹, I Putu Yogi Astara Putra¹, Joko Tri Wibowo^{2,3}, Ida Bagus Nyoman Putra Dwija⁴, Ni Putu Ariantari¹*

Diterima
22 Maret 2025

Disetujui 26 Mei 2025

INTISARI

Jamur laut merupakan salah satu sumber penting metabolit sekunder dalam penemuan obat. Isolasi jamur laut dapat dilakukan dari berbagai sumber di ekosistem laut, termasuk air laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi jamur dari air laut di Pantai Amed dan Tulamben, melakukan skrining fitokimia ekstrak metanol, melakukan uji aktivitas antimikroba ekstrak menggunakan metode difusi cakram, dan uji antioksidan menggunakan metode 2,2-difenil-1pikrilhidrazil (DPPH). Tiga isolat jamur laut berhasil diisolasi dalam penelitian ini dan diidentifikasi sebagai Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2), Cladosporium sp. AL-TU, dan Penicillium citrinum RM-NS-AL-TU melalui identifikasi molekuler. Jamur tersebut kemudian difermentasi pada media beras yang mengandung garam dan tanpa garam. Pada akhir fermentasi, metabolit sekunder diekstraksi menggunakan pelarut etil asetat, dilanjutkan dengan ekstraksi cair-cair menggunakan pelarut metanol yang mengandung 10% air dan n-heksana. Hasil skrining fitokimia fraksi metanol yang didapatkan menunjukkan seluruh fraksi mengandung senyawa golongan alkaloid dan polifenol. Diantara ekstrak uji, ekstrak yang diperoleh dari fermentasi jamur Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) pada media beras tanpa penambahan garam menunjukkan aktivitas tertinggi terhadap Staphylococcus epidermidis ATCC 12228 dengan diameter zona hambat 5,77±0,12 mm. Ekstrak dari jamur tersebut yang diperoleh dari fermentasi pada media beras dengan suplementasi garam menunjukkan aktivitas tertinggi terhadap Candida albicans ATCC 10231 dengan diameter zona hambat sebesar 6,66±0,46 mm. Ekstrak ini juga menunjukkan aktivitas antioksidan kuat dengan nilai IC₅₀=21,68±0,92 μg/mL. Hasil tersebut menunjukkan potensi jamur Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) untuk dieksplorasi senyawa bioaktifnya, terutama sebagai antimikroba dan antioksidan.

Kata kunci: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil, antimikroba, antioksidan, difusi cakram, jamur laut

ABSTRACT

Marine-derived fungi are one of the important sources of secondary metabolites in drug discovery. These fungi can be isolated from various sources in marine ecosystems, including seawater. This study aims to isolate fungi from seawater samples collected at Amed and Tulamben Beaches, perform the phytochemical screening of obtained methanol extracts, as well as evaluate their antimicrobial by disk diffusion method and antioxidant potency using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay. Three marine fungal isolates were isolated in this study and identified as *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2), *Cladosporium* sp. AL-TU, and

¹⁾ Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia – 80361

²⁾ Pusat Riset Vaksin dan Obat, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bogor, Jawa Barat, Indonesia – 10340

³⁾ STIKES Mamba'ul 'Ulum Surakarta, Jl. Ring Road Utara KM 0.3 Tawangsari Mojosongo Surakarta 57127, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia - 80232

^{*}Email: putu ariantari@unud.ac.id

Penicillium citrinum RM-NS-AL-TU through molecular biology. The obtained fungal isolates were then cultivated on rice media with or without the addition of salt. After the fermentation, secondary metabolites were extracted with ethyl acetate, followed by liquid-liquid extraction using aqueous methanol and *n*-hexane. Phytochemical analysis of the resulting methanol extracts showed that alkaloid and polyphenol were detected in all extracts. Antimicrobial assay showed that extract afforded from the rice fermentation of *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) with the absence of salt was the most active against Staphylococcus epidermidis *ATCC* 12228 with an inhibition zone diameter of 5.77±0.12 mm. Meanwhile, the extract from salt-enriched cultures possessed antifungal activity against *Candida albicans* with zone inhibition of 6.66±0.46 mm, in addition to its antioxidant activity with an IC₅₀ value of 21.68±0.92 μg/mL. These results indicate that seawater-derived fungus *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) potentially investigated for its bioactive compounds, particularly on its antimicrobial and antioxidant effects.

Keywords: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, antimicrobial, antioxidant, disk diffusion, marine-derived fungi

PENDAHULUAN

Resistensi antimikroba merupakan kondisi di mana mikroorganisme, baik itu bakteri, virus, jamur, dan parasit, berkembang menjadi kebal terhadap obatobatan antimikroba yang sebelumnya efektif untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme tersebut. Resistensi terjadi akibat penggunaan antimikroba yang tidak tepat, didukung dengan plastisitas genetik mikroba, dan kapasitas adaptasi mikroba yang cepat (Durães & Sousa, 2019). Dampaknya adalah peningkatan angka kematian dan komplikasi kesehatan karena pilihan pengobatan menjadi semakin terbatas (Michael et al., 2014). Kematian yang teriadi akibat resistensi antimikroba diperkirakan mencapai angka 4,95 juta di seluruh dunia pada tahun 2019 (Murray et al., 2022). Menghadapi permasalahan ini, pencarian senyawa potensial untuk pengembangan antimikroba baru sangat diperlukan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah eksplorasi senyawa bioaktif dari sumber alami seperti mikroorganisme. Dibandingkan dengan makroorganisme, mikroorganisme memiliki keunggulan karena menghasilkan produk antimikroba alami dalam jumlah besar dan berkelanjutan dengan biaya yang relatif lebih murah (Silber et al., 2016).

Jamur merupakan salah satu mikroorganisme dengan struktur seluler unik yang memiliki peran penting dalam ekosistem. Jamur, termasuk jamur laut, telah berperan sebagai penghasil metabolit sekunder bioaktif yang menjadi senyawa penuntun dari banyak obat yang digunakan saat ini (Durães et al., 2021; Gakuubi et al., 2021). Pada tahun 2016, sebanyak 1.277 senyawa baru dengan aplikasi biomedis yang menjanjikan berhasil diidentifikasi, dan sekitar 36% dari molekul tersebut diproduksi oleh jamur laut (Blunt et al., 2018). Jumlah senyawa baru yang berasal dari jamur laut meningkat setiap tahunnya, dari 287 pada tahun 2012, menjadi 724 pada tahun 2019 (Qiu et al., 2022). Jamur laut hidup pada lingkungan yang kompetitif secara biologis dengan kondisi perubahan suhu, tekanan, salinitas, cahaya, dan komposisi mineral. Hal tersebut telah mengembangkan kemampuan metabolik jamur laut yang unik untuk bertahan hidup di habitat tersebut dan menghasilkan metabolit potensial yang beragam secara struktural dan berbeda dari produk yang diidentifikasi mikroorganisme darat (Barbosa et al., 2020; Safwan et al., 2023).

Sejak tahun 2010, jumlah senyawa antimikroba yang ditemukan pada jamur laut telah berkembang pesat (Xu et al., 2015). Keanekaragaman jamur laut sangat besar yang tersebar luas di perairan, sedimen, serta berbagai organisme laut seperti spons, alga, dan organisme lainnya (Pan et al., 2024). Sekitar 339 metabolit sekunder baru dihasilkan oleh jamur yang berasosiasi dengan alga dan spons pada tahun 2017 hingga 2021 (Safwan et al., 2023). Penelitian oleh

Losung et al. (2015) melaporkan bahwa ekstrak jamur yang diisolasi dari spons dapat menghambat pertumbuhan Staphylococcus aureus dan Escherichia coli dengan diameter zona hambat secara berturut-turut 25,0 dan 35,0 mm. Penelitian yang dilakukan oleh Ariantari et al. (2024) melaporkan bahwa jamur yang diisolasi dari alga menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap S. aureus dan Bacillus cereus dengan nilai konsentrasi hambat minimum sebesar 15,6 µg/mL. Jamur laut juga diketahui menghasilkan senyawa dengan potensi sebagai agen antioksidan yang mampu melindungi tubuh dari efek merugikan radikal bebas (Papikinou et al., 2024). Penelitian oleh Ngo et al., (2023) melaporkan bahwa jamur Aspergillus sp. yang diisolasi dari rumput laut yang dikoleksi dari Tran Hung Dao, Quang Ninh, Vietnam menunjukkan nilai IC₅₀ yaitu 50±0,44 μg/mL. Pada penelitian ini, penulis mengisolasi jamur dari air laut, khususnya air laut dari pantai yang memiliki keanekaragaman hayati bawah laut, seperti Pantai Amed dan Tulamben, Bali, Indonesia. Air laut dipilih sebagai sumber yang menarik karena dapat diperoleh dengan mudah dan dalam jumlah melimpah tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem bawah laut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi potensi aktivitas antimikroba dan antioksidan ekstrak metanol yang dihasilkan jamur laut dari pantai Amed dan Tulamben.

MATERI DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Sampel air laut diambil dari dua lokasi yaitu Pantai Amed dan Pantai Tulamben pada bulan Juni 2024. Secara geografis Pantai Amed terletak di Jalan Raya Amed Seraya, Bunutan, Amed, Kecamatan Karangasem, Kabupaten Karangasem, Bali, yang tepatnya terletak pada koordinat 8°21'00.8"S 115°40'58.4"E. Sedangkan Pantai Tulamben terletak di Karangasem, Tulamben, Kecamatan Kubu, Kabupaten Karangasem, Bali, yang tepatnya terletak pada koordinat 8°16'32.5"S 115°35'34.8"E. Sampel air laut kemudian dibawa ke Laboratorium Terpadu Universitas Udayana untuk prosedur penelitian selanjutnya.

Bahan dan alat

Media untuk proses isolasi, purifikasi, dan fermentasi jamur terdiri dari ekstrak malt (Himedia[®], India), agar (Difco BD[®], Maryland Amerika Serikat), yeast extract (Oxoid®, Prancis), gliserol (Vivantis®, Malaysia), garam laut buatan (Artificial Sea Water Salts Broth) (Himedia[®], India), Beras (Putri Sejati[®], Indonesia), dan air demineralisasi. *Ouick-DNA* TM Fungal/Bacterial Miniprep Kit (Zymo Research®, Amerika Serikat) digunakan dalam proses ekstraksi DNA. DNA polimerase, primer ITS1 dan ITS4, air bebas nuklease (Thermo Scientific[®], Lithuania), agarose (1st BASE[®], Singapura), dan dapar tris-acetate-EDTA (1st BASE®, Singapura) digunakan untuk amplifikasi region ITS (internal transcribed spacer) melalui proses PCR (polymerase chain reaction) dalam identifikasi molekuler. Beras (Putri Sejati®, Indonesia) digunakan dalam proses fermentasi. Pelarut etil asetat, metanol, n-heksana digunakan dalam proses ekstraksi dan ekstraksi cair-cair. Mueller-Hinton Agar (MHA) (Oxoid®, Perancis), Mueller-Hinton Broth (MHB) (Himedia®, India), Sabouraud Dextrose Agar (SDA) (Oxoid®, Perancis), Sabouraud Dextrose Broth (SDB) (Himedia[®], India), sterile disc ukuran 6 mm (Himedia[®]), kloramfenikol (Nalgane[®], Amerika Serikat), ketokonazol (Zoralin[®], Indonesia) digunakan untuk uji antimikroba. Asam askorbat (Supelco[®], Jerman) dan 2,2-difenil-1pikrilhidrazil (DPPH) (Smart-Lab®, Indonesia) digunakan dalam proses uji antioksidan.

Alat yang digunakan yaitu autoklaf (Biobase[®], Cina), *laminar air flow* (JLabTech[®], Korea Selatan), pompa vakum, *rotary evaporator* (Heidolph[®], Jerman), Erlenmeyer (Duran[®]), *Polymerase Chain Reaction* (PCR) *machine* (Thermocycler Labcycler 48[®]), Spektrofotometer UV-Vis (Thermo Scientific[®], Amerika Serikat), mikropipet (JoanLab[®], Amerika Serikat), cawan Petri 150 mm (Charuzu[®]), inkubator (Binder[®], Jerman), *Microplate* 96-*well flat bottom* (Iwaki[®], Jepang), dan multiskan (Thermo Scientific[®]).

Isolasi dan purifikasi jamur laut

Isolasi jamur dari sampel air laut dilakukan dengan menuangkan 500 μ L sampel air laut pada media agar. Media agar dibuat dengan campuran ekstrak malt, agar, garam laut buatan, kloramfenikol, dan dilarutkan dalam air demineralisasi. Media agar dan beras disimpan pada suhu ruang selama 4 hingga 14 hari sehingga pertumbuhan jamur teramati dengan jelas. Tahap pemurnian isolat dilakukan terhadap setiap isolat dengan morfologi yang berbeda. Isolat jamur dipindahkan ke media agar yang baru dengan bantuan ose, kemudian diinkubasi pada suhu ruang. Prosedur yang sama diulang hingga diperoleh isolat jamur yang murni (Ariantari et al., 2023).

Identifikasi isolat jamur laut

Tahap identifikasi diawali dengan ekstraksi DNA dari isolat jamur dengan Quick-DNA Fungal/Bacterial Miniprep Kit (Zymo Research, USA) sesuai dengan protokol manufaktur. Identifikasi isolat jamur laut dilakukan melalui perbandingan urutan sekuen region ITS (Internal Transcribed Spacer) yang diamplifikasi melalui proses PCR. Proses ini menggunakan primer forward ITS-1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') dan primer reverse ITS-4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') masing-masing sebanyak 1 μL. Reagen lainnya dalam campuran PCR meliputi 20 µL DNA polimerase, 1 µL DNA template dari hasil ekstraksi DNA, dan 17 µL air bebas nuklease. Mesin PCR diatur pada kondisi pre-denaturasi pada 95°C selama 1,5 menit; 35 siklus yang terdiri dari denaturasi pada suhu 95°C, annealing pada suhu 56°C, dan ekstensi pada 72°C selama 15 menit. Amplikon kemudian dianalisis menggunakan elektroforesis menggunakan gel agarosa 1,5% dalam buffer TAE 10x pada 75 volt selama 45 menit. Produk hasil PCR dikirim ke 1st BASE, Malaysia untuk disekuensing. Sekuens isolat dibandingkan dengan sekuens nukleotida di GenBank National Center for Biotechnology Information (NCBI) menggunakan program Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) untuk nukleotida. Beberapa sekuens yang menunjukkan similaritas paling tinggi dengan sekuens jamur disejajarkan dengan metode MUSCLE. Pohon filogenetik direkonstruksi menggunakan perangkat lunak MEGA versi 11.0.13 dengan metode neighborjoining dengan 1.000 replikasi bootstrap (Ariantari et al., 2023).

Fermentasi dan ekstraksi

Setiap isolat jamur yang sudah murni difermentasikan pada media beras yang mengandung garam dan tanpa garam. Media beras tanpa garam terdiri dari 100 g beras yang diautoklaf dalam 110 mL air demineralisasi. Sementara itu, media beras mengandung garam terdiri dari komposisi yang sama dengan tambahan 3,8 g garam laut buatan. Isolat jamur murni dari media agar dipotong menjadi bagian yang lebih kecil dan disebarkan pada permukaan kedua jenis media beras. Sampel disimpan pada suhu ruang hingga miselium jamur memenuhi permukaan media beras. Proses ekstraksi dilakukan dengan menuangkan 500 mL etil asetat ke dalam kultur jamur, kemudian diagitasi

dengan *orbital shaker* berkecepatan 150 rpm selama 8 jam. Isolat kemudian difiltrasi menggunakan vakum filter untuk mendapatkan ekstrak cair yang kemudian dipekatkan menggunakan bantuan alat *rotary evaporator* sehingga dihasilkan ekstrak etil asetat. Ekstrak selanjutnya dipartisi dengan metode ekstraksi cair-cair menggunakan pelarut metanol yang mengandung 10% air dan *n*-heksan. Fase metanol dan *n*-heksan ditampung secara terpisah dan dikeringkan hingga diperoleh ekstrak kental (Putra et al., 2023).

Skrining fitokimia

Skrining fitokimia dilakukan pada ekstrak metanol jamur laut untuk mendeteksi keberadaan senyawa seperti alkaloid, polifenol, triterpenoid, steroid, flavonoid, saponin, dan terpenoid. Larutan uji disiapkan dengan melarutkan 10 mg ekstrak dalam 1,5 mL metanol (pro analisis). Alkaloid dapat dideteksi dengan mencampurkan larutan ekstrak sebanyak 100 µL dengan HCl 2N sebanyak 100 µL pada pelat tetes. Kemudian, tiga tetes reagen Dragendorff, Wagner, dan Bouchardat ditambahkan secara terpisah ke dalam sumur yang berbeda. Terbentuknya endapan jingga, putih, atau coklat kehitaman pada masing-masing sumur secara berurutan menunjukkan keberadaan alkaloid (Ariantari et al., 2024). Analisis polifenol dilakukan dengan mereaksikan 200 μL larutan ekstrak dengan larutan FeCl₃ 10%. Terbentuknya warna biru gelap atau hijau kehitaman menunjukkan adanya senyawa polifenol (Ariantari et al., 2024). Analisis steroid dan triterpenoid dilakukan dengan menguapkan larutan ekstrak sebanyak 200 µL pada tabung reaksi, kemudian direaksikan dengan 50 μL diklorometana, 50 μL asam asetat anhidrat, dan 240 μL asam sulfat pekat secara hati-hati melalui dinding tabung. Terbentuknya warna hijau kebiruan menandakan keberadaan steroid, sedangkan terbentuknya cincin coklat atau ungu antara dua pelarut mengindikasikan keberadaan triterpenoid (Ariantari et al., 2024).

Analisis flavonoid dilakukan dengan menguapkan 200 μ L larutan ekstrak, lalu residunya ditambahkan 200 μ L aseton, sedikit asam borat dan asam oksalat, kemudian dipanaskan. Residunya dicampur dengan 200 μ L etil eter dan diamati pada UV 366 nm. Fluoresensi kuning intensif menunjukkan adanya flavonoid (Ariantari et al., 2024). Analisis saponin dilakukan dengan menggojog 200 μ L larutan ekstrak secara vertikal selama 10 detik. Pembentukan busa stabil selama 5 menit setelah penambahan satu tetes HCl 2N menandakan keberadaan saponin (Putra et al., 2023). Analisis terpenoid dilakukan dengan mereaksikan 200 μ L ekstrak dengan 100 μ L kloroform dan 100 μ L H₂SO₄ pekat. Terbentuknya lapisan warna coklat kemerahan pada lapisan atas menunjukkan adanya terpenoid (Putra et al., 2023).

Uji antimikroba

Uji antimikroba mengacu pada pedoman CLSI (2023). Pengujian dilakukan terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* ATCC 2592, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC 3351, *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Streptococcus mutans* ATCC 35668, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, dan *Candida albicans* ATCC 10231 dengan metode difusi cakram. Suspensi bakteri dibuat dengan menuangkan MHB atau SDB secukupnya ke dalam vial 10 mL, kemudian dituangkan stok bakteri atau jamur hingga absorbansi mencapai rentang 0,08-0,13 pada panjang gelombang 625 nm untuk bakteri dan 0,12-0,15 pada panjang gelombang 530 nm untuk jamur, menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Ekstrak uji dibuat dalam konsentrasi 5% dalam 1 mL dengan perbandingan metanol: akuades (9:1).

Kontrol positif kloramfenikol dibuat dalam konsentrasi 3 µg/mL, sedangkan ketokonazol dibuat dengan konsentrasi 1,5 µg/mL. Sebanyak 600 µL suspensi bakteri dan 550 µL suspensi jamur disebarkan pada masing-masing permukaan media agar menggunakan *cotton bud* steril. Sebanyak 10 µL ekstrak dituangkan pada tiap cakram dengan tiga kali pengulangan, demikian juga untuk kontrol positif dan negatif. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong setelah masa inkubasi selama 18-24 jam untuk bakteri dan 48-52 jam untuk jamur pada suhu 35 \pm 2°C.

Uji antioksidan

Uji antioksidan dilakukan terhadap ekstrak metanol jamur laut menggunakan metode DPPH. Larutan DPPH disiapkan dengan konsentrasi 0,5 M dalam pelarut metanol. Pembanding yang digunakan adalah asam askorbat yang dilarutkan dalam metanol, kemudian dibuat lima variasi konsentrasi yang terdiri atas konsentrasi 4, 6, 8, 10, dan 12 µg/mL. Ekstrak metanol dilarutkan dalam metanol, kemudian dibuat dalam lima variasi konsentrasi mulai dari 10 hingga 500 µg/mL. Larutan asam askorbat maupun sampel dipipet ke dalam masing-masing sumur pada *microplate* dengan tiga kali pengulangan. Metanol selanjutnya dipipet ke dalam sumur hingga diperoleh volume sebesar 160 µL tiap sumur. Larutan DPPH dipipet ke dalam masing-masing sumur sebanyak 40 µL, sehingga diperoleh volume akhir dari masing-masing sumur yaitu 200 µL. Inkubasi dilakukan selama 30 menit dalam kondisi gelap, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 517 nm menggunakan alat *microplate reader*. Hasil pengukuran absorbansi digunakan untuk menentukan nilai persen inhibisi pada setiap konsentrasi sampel, dengan rumus sebagai berikut:

$$\%$$
Inhibisi= $\frac{\text{Absorbansi sampel-Absorbansi blanko}}{\text{Absorbansi blanko}} \times 100\%$

Nilai persen inhibisi yang diperoleh selanjutnya diplot untuk memperoleh persamaan regresi linear dan nilai IC₅₀ dari masing-masing ekstrak (Pharm et al., 2020).

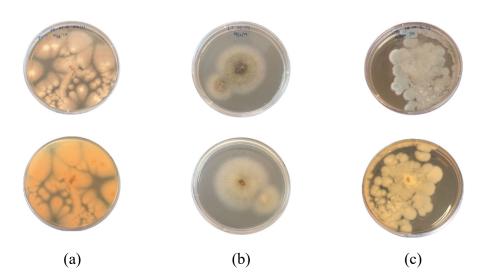
Analisis data

Data sekuens ITS dibandingkan dengan sekuens lainnya yang tersimpan pada Genbank menggunakan program BLAST. Pohon filogenetik direkonstruksi menggunakan MEGA 11. Hasil uji antimikroba dan antioksidan dianalisis dengan Microsoft Excel, kemudian dinyatakan sebagai rata-rata±SD dengan satuan milimeter (mm) untuk uji antibakteri dan µg/mL untuk uji antioksidan, dengan nilai RSD tidak lebih dari 5%.

HASIL

Isolasi jamur dan fermentasi

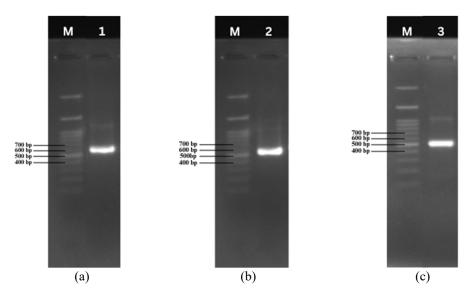
Sebanyak tiga isolat berhasil diisolasi dari sampel air laut yang terdiri atas satu isolat dari air laut Pantai Amed dengan kode RM-NS-AL-AM(2) serta dua isolat dari air laut Pantai Tulamben dengan kode AL-TU dan RM-NS-AL-TU. Penampakan morfologi masing-masing isolat jamur ditampilkan pada Gambar 1. Ketiga isolat murni difermentasi masing-masing pada dua media beras yaitu media beras yang mengandung garam dan media beras tanpa garam.



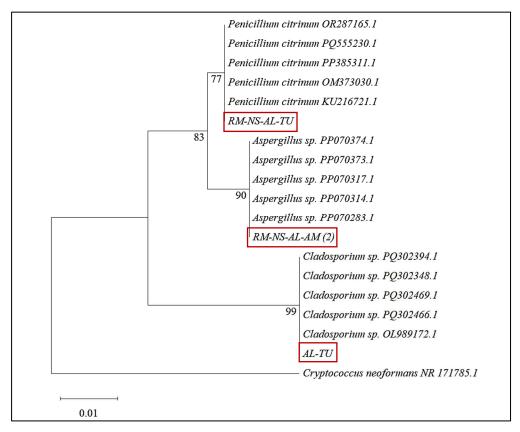
Gambar 1. Penampakan morfologi masing-masing isolat jamur laut yang diisolasi dari air laut di Pantai Amed dan Tulamben, bagian atas merupakan tampak depan sedangkan bagian bawah merupakan sebalik koloni (a) RM-NS-AL-AM (2); (b) AL-TU; dan (c) RM-NS-AL-TU.

Identifikasi isolat jamur laut

Elektroforesis dilakukan terhadap ketiga isolat dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2. Jumlah pasang basa dari RM-NS-AL-AM(2), AL-TU, dan RM-NS-AL-TU secara berurutan yaitu 568, 508, dan 459 bp. Pohon filogenetik hasil analisis ditampilkan pada Gambar 3, dengan kode RM-NS-AL-AM(2), AL-TU, dan RM-NS-AL-TU sebagai penanda sampel. Analisis sekuens menunjukkan bahwa Isolat RM-NS-AL-AM(2) memiliki kekerabatan terdekat dengan *Aspergillus* sp. dengan *bootstrap* 90%. Isolat AL-TU memiliki kekerabatan terdekat dengan *Cladosporium* sp. dengan bootstrap 99%. Sementara RM-NS-AL-TU memiliki kedekatan tertinggi dengan *P. citrinum* dengan bootstrap 77%. Hasil identifikasi molekuler menunjukkan bahwa RM-NS-AL-AM(2), AL-TU, dan RM-NS-AL-TU secara berurutan memiliki kedekatan tertinggi dengan spesies *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*, dan *Penicillium citrinum*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Elektroforegram produk PCR hasil amplifikasi ITS wilayah dari isolat jamur (a) 2: RM-NS-AL-AM (2); (b) 3: AL-TU; dan (c) 4: RM-NS-AL-TU. M: 1k bp DNA marker.



Gambar 3. Pohon filogenetik isolat jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Tulamben dan Amed berdasarkan analisis pada daerah ITS.

Tabel 1. Hasil identifikasi molekuler jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Tulamben dan Amed menggunakan Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)

No.	Kode Isolat	Hubungan Kedekatan Taksonomi	Percent Identification	Query Coverage	E. Value
1.	RM-NS-AL-AM(2)	Aspergillus sp. PP070374.1	100%	100%	0,0
2.	AL-TU	Cladosporium sp. PQ302394.1	100%	99%	0,0
3.	RM-NS-AL-TU	Penicillium citrinum OR287165.1	98,24%	92%	0,0

Ekstraksi cair-cair

Fraksi metanol diperoleh melalui ekstraksi cair-cair dengan pelarut metanol dan n-heksana. Jumlah bobot ekstrak yang dihasilkan setelah pemekatan ditampilkan pada Tabel 2.

Skrining fitokimia

Skrining fitokimia menunjukkan seluruh ekstrak mengandung alkaloid dan polifenol. Triterpenoid terdeteksi pada ekstrak metanol dari *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) yang difermentasi pada media beras mengandung garam (S) dan tanpa garam (NS), *Cladosporium* sp. AL-TU (NS), *P. citrinum* RM-NS-AL-TU(S), dan *P. citrinum* RM-NS-AL-TU(NS). Flavonoid, saponin, steroid, dan terpenoid tidak terdeteksi pada satupun ekstrak metanol. Hasil skrining fitokimia ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Bobot ekstrak etil asetat hasil fermentasi jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Tulamben dan Amed dan hasil ekstraksi cair-cair ekstrak etil asetat

No	Kode Ekstrak	Jumlah Ekstrak (g)				
	Koue Ekstrak	Ekstrak Etil Asetat	Fraksi Metanol	Fraksi <i>n</i> -Heksana		
1.	Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) (S)*	1,4238	1,2851	0,1387		
2.	Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) (NS)	1,8695	1,0149	0,8546		
3.	Cladosporium sp. AL-TU (S)	0,296	0,1089	0,1825		
4.	Cladosporium sp. AL-TU (NS)	0,697	0,296	0,401		
5.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (S)	0,5313	0,144	0,3873		
6.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (NS)	1.1259	0,2557	0,8702		

Keterangan: *) (S)/(NS) pada kode ekstrak menunjukkan ekstrak diperoleh dari fermentasi pada media beras dengan/tanpa penambahan garam.

Tabel 3. Hasil skrining fitokimia ekstrak metanol dari jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Tulamben dan Amed

No	Electrick McOH dowi icamura	Metabolit Sekunder						
No	Ekstrak MeOH dari jamur	Alkaloid	Polifenol	Triterpenoid	Steroid	Flavonoid	Saponin	Terpenoid
1.	Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) (S)*	(+)**	(+)	(+)	(-)**	(-)	(-)	(-)
2.	Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) (NS)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
3.	Cladosporium sp. AL-TU (S)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
4.	Cladosporium sp. AL-TU (NS)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
5.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (S)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
6.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (NS)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)

Keterangan: *) (S)/(NS) pada kode ekstrak menunjukkan ekstrak diperoleh dari fermentasi pada media beras dengan/tanpa penambahan garam; **) (+)/(-) mengandung/tidak mengandung metabolit sekunder.

Uji antimikroba

Uji antimikroba menunjukkan bahwa seluruh ekstrak memiliki aktivitas terhadap *S. aureus*. Beberapa ekstrak menunjukkan aktivitas terhadap *S. epidermidis* dan *S. mutans*. Aktivitas antibakteri yang paling baik secara keseluruhan ditunjukkan oleh *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) (NS) dengan zona hambat sebesar 5,77±0,12 mm terhadap bakteri *S. epidermidis*. Aktivitas antijamur hanya ditunjukkan oleh *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) yang difermentasi pada media beras mengandung garam (S) dengan diameter 6,14±0,15 mm. Ekstrak uji tidak menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap

bakteri *E. coli*, MRSA, dan *B. cereus* pada konsentrasi uji yang digunakan. Hasil uji antibakteri ditampilkan pada Tabel 4.

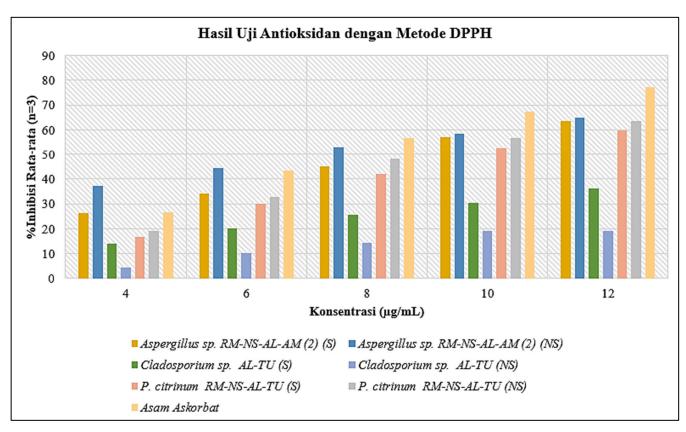
Tabel 4. Hasil uji aktivitas antimikroba ekstrak metanol jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Tulamben dan Amed, pada konsentrasi 50 mg/mL dengan metode difusi cakram

		Diameter zona hambat (diameter ± SD) (mm)							
No	Ekstrak MeOH dari jamur	S. aureus ATCC 25923	E. coli ATCC 25922	MRSA ATCC 3351	B. cereus ATCC 11778	S. epidermidis ATCC 12228	S. mutans ATCC 35668	C. albicans ATCC 10231	
1.	Aspergillus sp. RM-NS-AL- AM (2) (S)*	3,39±0,01	0	0	0	2,91±0,11	0,47 ±0,02	6,14 ± 0,15	
2.	Aspergillus sp. RM-NS-AL- AM (2) (NS)	4,81±0,03	0	0	0	5,77±0,12	2,53±0,02	0	
3.	Cladosporium sp. AL-TU (S)	0,87±0,01	0	0	0	3,52±0,02	1,28±0,03	0	
4.	Cladosporium sp. AL-TU (NS)	1,99±0,05	0	0	0	0	1,56±0,01	0	
5.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (S)	3,89±0,12	0	0	0	0	0	0	
6.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (NS)	1,07±0,01	0	0	0	0	0	0	
	Kloramfenikol	18,62±0,03	18,97±0,11	$3,30\pm0,005$	22,10±0,76	20,98±0,22	21,69±0,92	(-)**	
	Ketokonazol	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	21,26±0,05	

Keterangan: *) (S)/(NS) pada kode ekstrak menunjukkan ekstrak diperoleh dari fermentasi pada media beras dengan/tanpa penambahan garam; **) (-) tidak dilakukan pengujian. Kloramfenikol dan ketokonazol digunakan sebagai pembanding pada uji terhadap bakteri dan jamur. Data merupakan rata-rata diameter zona hambat yang diperoleh dari 3 kali pengujian.

Uji antioksidan

Hasil uji antioksidan menunjukkan adanya peningkatan kemampuan menghambat radikal bebas seiring dengan meningkatnya konsentrasi sampel seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Uji antioksidan menunjukkan IC50 dari asam askorbat yaitu 6,79 \pm 0,10 µg/mL dengan kategori aktivitas sangat kuat. Hasil uji antioksidan yang paling baik ditunjukkan oleh *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) (S) dengan nilai IC50 yaitu 21,68 \pm 0,98 µg/mL. Ekstrak *Cladosporium* sp. AL-TU, baik yang difermentasi pada media beras mengandung garam (S) maupun tanpa garam (NS) dan *P. citrinum* RM-NS-AL-TU (NS) tergolong tidak aktif dalam menghambat radikal bebas yang ditunjukkan dengan nilai IC50 >500 µg/mL. Hasil uji antioksidan ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 4. Hasil uji antioksidan dari ekstrak metanol jamur dengan kode *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) (S), *Aspergillus* sp. RM-NS-AL-AM(2) (NS), *Cladosporium* sp. AL-TU (S), *Cladosporium* sp. AL-TU (NS), *P. citrinum* RM-NS-AL-TU (NS), dan pembanding Asam Askorbat.

Tabel 5. Hasil uji antioksidan ekstrak metanol jamur yang diisolasi dari air laut Pantai Tulamben dan Amed, menggunakan metode DPPH

No	Ekstrak MeOH dari jamur	$IC_{50} \pm SD (\mu g/mL)$	Kategori**
3.	Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) (S)*	21,68±0,92	Kuat
4.	Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) (NS)	28,14±0,63	Kuat
5.	Cladosporium sp. AL-TU (S)	>500	Tidak aktif
6.	Cladosporium sp. AL-TU (NS)	>500	Tidak aktif
7.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (S)	224,66±5,62	Lemah
8.	P. citrinum RM-NS-AL-TU (NS)	321,12±10,32	Tidak aktif
	Asam Askorbat	6,79±0,10	Sangat kuat

Keterangan: *) (S)/(NS) ekstrak yang difermentasi dengan/tanpa penambahan garam; **) Kategori aktivitas antioksidan mengacu pada penelitian Wardaniati & Yanti (2018) yaitu suatu senyawa dikatakan memiliki antiradikal bebas dengan kategori sangat kuat jika nilai IC_{50} <50 μg/mL, kategori aktif jika IC_{50} berkisar antara 50 dan 100 μg/mL, kategori sedang jika IC_{50} berkisar antara 101 dan 250 μg/mL, kategori lemah jika nilai IC_{50} berkisar antara 251 dan 500 μg/mL, serta dikategorikan tidak aktif jika nilai IC_{50} >500 μg/mL.

PEMBAHASAN

Air laut merupakan media bagi jamur laut untuk bersporulasi di ekosistem laut (Annathurai & Konthoujam, 2020). Penelitian ini mengisolasi tiga jamur dengan kode RM-NS-AL-AM(2), AL-TU, dan RM-NS-AL-TU, dari air laut yang dikoleksi dari Pantai Amed dan Tulamben. Identifikasi jamur secara morfologi seringkali kurang efektif pada tingkat spesies (Raja et al., 2017). Oleh karena itu, identifikasi spesies dari masing-masing isolat dilakukan melalui identifikasi molekuler berdasarkan perbandingan urutan DNA. Analisis sekuens menunjukkan bahwa Isolat RM-NS-AL-AM(2) memiliki kekerabatan terdekat dengan Aspergillus sp., isolat AL-TU memiliki kekerabatan terdekat dengan Cladosporium sp., sedangkan RM-NS-AL-TU memiliki kekerabatan terdekat dengan P. citrinum. Jamur Cladosporium sp. dan Aspergillus sp. telah dilaporkan diisolasi dari sampel air laut, namun belum ada penelitian yang melaporkan P. citrinum yang diisolasi dari air laut. Ketiga isolat yang sudah murni selanjutnya difermentasi pada media beras mengandung garam dan tanpa garam. Tujuan fermentasi pada media beras dengan dan tanpa penambahan garam adalah untuk mengevaluasi pengaruh keberadaan garam terhadap pertumbuhan jamur dan produksi metabolit sekunder selama proses fermentasi, yang selanjutnya dapat memengaruhi aktivitas antibakteri dan kemampuan menghambat radikal bebas. Beras merupakan salah satu media fermentasi padat yang umum digunakan karena mudah didapatkan dengan harga yang terjangkau. Beras mengandung karbohidrat dalam jumlah tinggi serta beragam nutrisi kompleks yang digunakan untuk mendukung pertumbuhan jamur selama masa fermentasi (Fajrina et al., 2020). Proses fermentasi membutuhkan waktu 14 hari hingga jamur memenuhi seluruh permukaan atas dan bawah media beras. Proses ekstraksi menggunakan etil asetat karena bersifat semipolar sehingga dapat menarik senyawa polar maupun non polar (Oktria et al., 2023). Ekstrak etil asetat yang sudah dipekatkan selanjutnya dipartisi dengan pelarut metanol yang mengandung 10% air untuk menarik senyawa polar dan n-heksana untuk menarik senyawa non polar (Simorangkir et al., 2019). Ekstrak metanol dan nheksana yang sudah dipekatkan ditimbang bobotnya dan digunakan untuk menghitung bobot etil asetat seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Hasil skrining fitokimia menunjukkan bahwa seluruh ekstrak positif mengandung alkaloid dan polifenol. Tidak satupun ekstrak mengandung flavonoid, hal ini dapat terjadi karena tidak semua flavonoid bersifat polar tetapi juga dapat bersifat non polar seperti isoflavon, flavon, dan flavonol sehingga tidak dapat larut dalam metanol (Luna et al., 2020). Demikian pula saponin, steroid, dan terpenoid tidak terdeteksi pada semua ekstrak metanol karena bersifat non polar (Dey et al., 2020). Hasil skrining fitokimia terhadap seluruh sampel dapat dilihat pada Tabel 3. Spesies jamur yang sama yang dikultur pada media beras mengandung garam menghasilkan ekstrak metanol dengan metabolit yang berbeda dibandingkan dengan jamur yang dikultur pada media beras tanpa garam seperti yang ditunjukkan oleh Cladosporium sp., sedangkan Aspergillus sp. dan P. citrinum tidak menunjukkan perbedaan. Terdapat penelitian sebelumnya yang melaporkan senyawa yang terkandung dalam jamur Aspergillus sp., Cladosporium sp., dan P. citrinum yang diisolasi dari laut. Penelitian yang dilakukan oleh Anh et al. (2022) melaporkan empat senyawa vang berhasil diidentifikasi dari jamur Aspergillus unguis yang diisolasi dari sampel air laut di Socheongcho, Korea, terdiri dari agonodepside A, B, C, dan folipastatin. Penelitian yang dilakukan oleh Silber et al., (2014) melaporkan bahwa jamur Cladosporium sp. yang diisolasi dari air laut Wadden, Jerman, memiliki kandungan senyawa malettinin A, B, C, dan E. Tidak ditemukan

penelitian yang melaporkan senyawa dari P. citrinum yang diisolasi dari air laut, namun terdapat penelitian yang melaporkan bahwa P. citrinum yang diisolasi dari sedimen laut dalam di Samudra Pasifik Barat, mengandung senyawa penidihidrocitrinin A, B, C; dekarboksidihidrocitrinin; dihidrocitrinin; $(3R^*, 4S^*)$ -6,8-dihidroksi-3,4,7-trimetilisokoumarin; sklerotinin C; asperbifenil; fenol A; citrinin H2; citrinin; emodin; pinselin; neosiklocitrinol C; (Z,Z)-9,12-okadekadienoat asam metil ester; dan 2,3-butanediol (Zhang et al., 2023).

Uji antimikroba yang dilakukan dengan metode difusi cakram menunjukkan bahwa beberapa ekstrak menghasilkan pembentukan zona hambat. Meskipun tidak terdapat perbedaan signifikan antara ekstrak hasil fermentasi pada media beras mengandung garam dan tanpa garam, ekstrak metanol jamur Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2), Cladosporium sp. AL-TU, dan P. citrinum RM-NS-AL-TU hasil fermentasi pada media beras mengandung garam menunjukkan aktivitas antimikroba yang lebih baik secara berturut-turut terhadap C. albicans, S. epidermidis, dan S. aureus, daripada ekstrak hasil fermentasi pada media beras tanpa garam. Jamur laut, termasuk Aspergillus sp. dan Cladosporium sp., memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap salinitas tinggi, meskipun produksi senyawa dengan aktivitas antimikroba pada beberapa strain jamur tidak dipengaruhi oleh konsentrasi garam. Namun, beberapa strain lainnya yang bersifat halofilik memerlukan konsentrasi optimal untuk memaksimalkan produksi senyawa tertentu yang diduga memiliki aktivitas antimikroba (Masuma et al., 2001; Ravindran et al., 2012). Pada penelitian ini, aktivitas antibakteri yang paling baik ditemukan pada Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) yang difermentasi pada media beras tanpa garam (NS) dengan diameter zona hambat 5,77+0,12 mm terhadap S. epidermidis, sedangkan aktivitas antijamur hanya ditunjukkan oleh Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) yang difermentasi pada media beras mengandung garam (S) dengan diameter zona hambat sebesar 6,14±0,15 mm. Hasil skrining fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak jamur Aspergillus sp. yang difermentasi pada media beras, baik yang mengandung garam maupun tanpa garam menunjukkan keberadaan alkaloid, polifenol, dan triterpenoid. Senyawa alkaloid bekerja dengan menghambat sintesis dinding sel bakteri, polifenol bekerja dengan mendenaturasi protein penyusun protoplasma, sementara triterpenoid bekerja dengan merusak protein transmembran (porin) pada membran luar dinding sel bakteri (Marselia et al., 2015; Rini & Rahmatan, 2017). Terdapat penelitian sebelumnya yang melaporkan aktivitas antimikroba dari jamur Aspergillus sp., Cladosporium sp., dan P. citrinum yang diisolasi dari ekosistem laut. Penelitian oleh El-Latif et al. (2021) melaporkan aktivitas antibakteri ekstrak etil asetat Aspergillus terreus yang diisolasi dari sedimen dan air laut yang dikoleksi dari Pantai Alexandria terhadap bakteri E. coli, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis, dan Aeromonas hydrophila dengan zona hambat secara berturut turut yaitu 12, 12, 13, dan 14 mm. Penelitian oleh Qi et al. (2009) melaporkan bahwa Cladosporium sp. yang diisolasi dari air laut di Kawasan Hutan Mangrove Kei Ling Ha Lo Wai, Sai Kung, teridentifikasi mengandung senyawa siklo-(Phe-Pro) dan menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap Loktanella hongkongensis, Micrococcus luteus, dan Ruegeria sp. dengan zona hambat > 10 mm. Tidak terdapat penelitian yang melaporkan mengenai hasil uji aktivitas antibakteri P. citrinum yang diisolasi dari air laut dengan metode difusi cakram, namun terdapat penelitian yang melaporkan aktivitas antibakteri ekstrak etil asetat P. citrinum yang diisolasi dari spons Xestospongia testudinaria yang dikoleksi dari Kepulauan Mandes, Sumatera Barat, Indonesia dengan zona hambat terhadap bakteri S. aureus, P. aeruginosa,

dan jamur *C. albicans* secara berturut-turut $15,2\pm0,36$; $26,7\pm0,32$; dan 18,0+0,32 mm (Bakhtra et al., 2022).

Uji antioksidan yang dilakukan dengan metode DPPH menunjukkan bahwa ekstrak yang difermentasi pada media beras mengandung garam memiliki potensi antioksidan yang lebih besar, tercermin dari nilai IC₅₀ yang lebih rendah dibandingkan dengan ekstrak yang difermentasi pada media beras tanpa garam. Peningkatan konsentrasi garam dapat memicu stres oksidatif, yang merangsang produksi enzim antioksidan seperti superoxide dismutase, catalase, dan glutathione S-transferase, serta merangsang jamur mengakumulasikan senyawa fenolik untuk menetralisir reactive oxygen species (ROS) (Ravindran et al., 2012). Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) yang diisolasi pada media beras dengan garam (S) menunjukkan nilai IC₅₀ yang paling rendah yaitu 21,68 \pm 0,92 ug/mL dengan kategori kuat. Hasil tersebut didukung oleh skrining fitokimia yang mengidentifikasi keberadaan polifenol sebagai metabolit sekunder yang memiliki aktivitas antioksidan melalui mekanisme transfer hidrogen dan elektron terhadap agen pengoksidasi. (Andrés et al., 2023). Terdapat penelitian sebelumnya yang melaporkan hasil uji antioksidan dari jamur Aspergillus sp., Cladosporium sp., dan Penicillium citrinum. Penelitian yang dilakukan oleh Kannan et al. (2024) melaporkan hasil uji antioksidan Aspergillus sp. yang berasosiasi dengan alga merah yang dikoleksi dari Taman Chao-Jin di Keelung, Taiwan, dengan nilai IC₅₀ yaitu 41,01±1,4 μg/mL. Penelitian yang dilakukan oleh Ameen et al. (2022) melaporkan hasil uji antioksidan dari ekstrak Cladosporium oxysporum yang diisolasi dari air laut yang dikoleksi dari Pantai Jeddah Barat, dengan persentase DPPH scavenging yaitu 84±8%. Tidak ada penelitian yang melaporkan hasil uji antioksidan dari P. citrinum yang diisolasi dari air laut, namun penelitian oleh Arora et al. (2012) melaporkan bahwa P. citrinum yang diisolasi dari tanah Amritsar, Punjab, India, menunjukkan aktivitas penghambatan sebesar 78,59+0,4%.

SIMPULAN

Tiga isolat jamur berhasil diisolasi dari air laut di Pantai Amed dan Tulamben, vang diidentifikasi sebagai Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2), Cladosporium sp. AL-TU, dan P. citrinum RM-NS-AL-TU. Seluruh ekstrak metanol menunjukkan potensi bioaktivitas melalui skrining fitokimia yang mengindikasikan kandungan alkaloid dan polifenol, namun tidak terdapat perbedaan signifikan mengenai hasil skrining fitokimia antara ekstrak jamur hasil fermentasi pada media beras mengandung garam (S) dan tanpa garam (NS). Aktivitas antibakteri yang paling baik ditunjukkan oleh ekstrak metanol Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2) hasil fermentasi jamur pada media beras tanpa penambahan garam. Aktivitas antijamur hanya ditunjukkan oleh ekstrak metanol Aspergillus sp. RM-NS-AL-AM(2), hasil fermentasi jamur pada media beras dengan penambahan garam. Ekstrak ini juga menunjukkan aktivitas antioksidan terbaik dengan nilai IC₅₀ sebesar 21,68±0,92 µg/mL. Hasil ini menunjukkan modifikasi media fermentasi dengan dan tanpa penambahan garam kemungkinan dapat mempengaruhi komposisi metabolit sekunder yang dihasilkan jamur dan mempengaruhi aktivitas farmakologis ekstrak yang dihasilkan. Penelitian lebih lanjut untuk mendeteksi metabolit sekunder tertentu yang diproduksi strain jamur tersebut berdasarkan perbedaan media fermentasi melalui analisis menggunakan HPLC/LC-MS serta penentuan nilai Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) pada uji aktivitas antimikroba menggunakan metode mikrodilusi potensial dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Udayana atas bantuan pendanaan yang diperoleh melalui hibah Penelitian/Riset Kampus Merdeka dengan nomor kontrak: B/266.46/UN14.4A/PT.01.03/2024. Penulis juga berterima kasih kepada Kelompok Riset Marine Natural Products, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas fasilitasi pelaksanaan penelitian melalui MBKM Riset Tahun 2024, dan Pemerintah Kabupaten Karangasem atas izin pengambilan sampel untuk penelitian.

KEPUSTAKAAN

- Ameen F, AlNAdhari S, Al-Homaidan AA. 2022. Marine Fungi Showing Multifunctional Activity Against Human Pathogenic Microbes and Cancer. *Plos One* **17**(1): 1–20. DOI: 10.1371/journal.pone.0276926
- Andrés CMC, Lastra JMP de la, Juan CA, Plou FJ, Pérez-Lebeña E. 2023. Polyphenols as Antioxidant/Pro-Oxidant Compounds and Donors of Reducing Species: Relationship with Human Antioxidant Metabolism. *Processes* **11**(**9**): 1–23. DOI: 10.3390/pr11092771
- Anh CV, Kwon JH, Kang JS, Lee HS, Heo CS, Shin HJ. 2022. Antibacterial and Cytotoxic Phenolic Polyketides from Two Marine-Derived Fungal Strains of *Aspergillus unguis*. *Pharmaceuticals* **15**(1): 1–9. DOI: 10.3390/ph15010074
- Annathurai K, Konthoujam L. 2020. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences Isolation and Identification of Marine Fungi from East Coastal Region of Chennai. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci* **7(12**): 126–133. DOI: 10.22192/ijarbs
- Ariantari NP, Putra IPYA, Leliqia NPE, Yustiantara PS, Proborini MW, Nugraheni N, Zulfin UM, Jenie RI, Meiyanto E. 2023. Antibacterial and Cytotoxic Secondary Metabolites from Endophytic Fungi Associated with Antidesma bunius leaves. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* **13**(7): 132–143. DOI: 10.7324/JAPS.2023.101347
- Ariantari NP, Putra IPYA, Wibowo JT, Putri SAMDA, Nabila CIB, Kristiani NKA, Wirasuta IMAG. 2024. Evaluation of Antibacterial and Toxicity Properties of Marine Endophytic Fungi from Red Algae *Gracilaria Salicornia* and *Chondrus* sp. *BIO Web of Conferences* **92(1)**: 1–12. DOI: 10.1051/bioconf/20249202019
- Arora DS, Chandra P, Kaur GJ. 2012. Optimization and Assay of Antioxidant Potential of Two *Penicillium* spp. by Different Procedures. *Current Biotechnology* **1**(1): 2–10
- Bakhtra D, Yanwirasti Y, Wahyuni FS, Aminah I, Handayani D. 2022. Antimicrobial and Cytotoxic Activities Screening of Marine Invertebrate-Derived Fungi Extract from West Sumatera, Indonesia. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences* **10**(**A**): 1427–1432. DOI: 10.3889/oamjms.2022.10374
- Barbosa F, Pinto E, Kijjoa A, Pinto M, Sousa E. 2020. Targeting Antimicrobial Drug Resistance with Marine Natural Products. *International Journal of Antimicrobial Agents* **56(1)**: 1–29. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.106005
- Blunt JW, Carroll AR, Copp BR, Davis RA, Keyzers RA, Prinsep MR. 2018. Marine Natural Products. *Natural Product Reports* **35**(1): 8–53. DOI: 10.1039/c7np00052a
- CLSI. 2023. M100: Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. Clinical and Laboratory Standards Institute
- Dey P, Kundu A, Kumar A, Gupta M, Lee BM, Bhakta T, et al. 2020. Analysis of Alkaloids (Indole Alkaloids, Isoquinoline Alkaloids, Tropane Alkaloids). *Recent Advances in Natural Products Analysis*. Elsevier, 505–567. DOI: 10.1016/B978-0-12-816455-6.00015-9
- Durães F, Sousa E. 2019. Omadacycline: A newly Approved Antibacterial from The Class of Tetracyclines. *Pharmaceuticals* **12(2)**: 1–9. DOI: 10.3390/ph12020063
- Durães F, Szemerédi N, Kumla D, Pinto M, Kijjoa A, Spengler G, Sousa E. 2021. Metabolites from Marine-Derived Fungi as Potential Antimicrobial Adjuvants. *Marine Drugs* **19(9)**. DOI: 10.3390/md19090475
- El-Latif HHA, Hassan SWM, Beltagy EA. 2021. Optimization and Characterization of Antimicrobial Agents Produced by Marine *Aspergillus terreus* SHE05 against *Aeromonas hydrophila* and other Applications. *Journal of Pure and Applied Microbiology* **15(4)**: 2367–2381. DOI: 10.22207/JPAM.15.4.62
- Fajrina A, Dinni D, Bakhtra A, Mawarni AE. 2020. Isolasi dan Uji Aktivitas Antimikroba Ekstrak Etil Asetat Jamur Endofit dari Daun Matoa (*Pometia pinnata*). *Jurnal Farmasi Higea* **12(1**): 81–89

- Gakuubi MM, Munusamy M, Liang ZX, Ng SB. 2021. Fungal Endophytes: A Promising Frontier for Discovery of Novel Bioactive Compounds. *Journal of Fungi* **7(10)**: 1–24. DOI: 10.3390/jof7100786
- Kannan J, Pang KL, Ho YN, Hsu PH, Chen LL. 2024. A Comparison of the Antioxidant Potential and Metabolite Analysis of Marine Fungi Associated with the Red Algae *Pterocladiella capillacea* from Northern Taiwan. *Antioxidants* **13(3)**. DOI: 10.3390/antiox13030336
- Losung FF, Bara dan E D Angkouw RA. 2015. Isolasi Antimikroba dari Jamur yang Bersimbiosis dengan Biota Laut. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi* **2(2)**: 36–41
- Luna SL, Ramírez-Garza RE, Serna Saldívar SO. 2020. Environmentally Friendly Methods for Flavonoid Extraction from Plant Material: Impact of Their Operating Conditions on Yield and Antioxidant Properties. *Scientific World Journal* **2020(1)**: 1–38. DOI: 10.1155/2020/6792069
- Marselia S, Wibowo MA, Arreneuz S. 2015. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Soma (*Ploiarium alternifolium* Melch) terhadap *Propionibacterium acnes. Jurnal Kimia Khatulistiwa* 4(4): 72–82
- Masuma R, Yamaguchi Y, Noumi M, Omura S, NamikoshP M. 2001. Effect of Sea Water Concentration on Hyphal Growth and Antimicrobial Metabolite Production in Marine Fungi. *Mycoscience* **42**(1): 455–459
- Michael CA, Dominey-Howes D, Labbate M. 2014. The Antimicrobial Resistance Crisis: Causes, Consequences, and Management. *Frontiers in Public Health* **2**(1): 1–8. DOI: 10.3389/fpubh.2014.00145
- Murray CJ, Ikuta KS, Sharara F, Swetschinski L, Aguilar GR, Gray A, et al. 2022. Global Burden of Bacterial Antimicrobial Resistance in 2019: A Systematic Analysis. *The Lancet* **399**: 629–655. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)02724-0
- Ngo TDN, Phan THT, Dinh TT, Yurchenko AN, Huynh HNK, Le DH, Vo TDT, Le TH, Pham DT. 2023. Screening of antibacterial and antioxidant activities of marine fungi isolated from the North Sea of Vietnam. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology* **23(2)**: 189–201. DOI: 10.15625/1859-3097/17458
- Oktria W, Riga R, Ikhsan MH, Agustini DM. 2023. Uji Antioksidan Fungi Endofitik BS-1 yang Berasosiasi Pada Bunga Sambiloto (*Andrographis paniculata*) dengan Beras Merah Sebagai Media Pertumbuhan. *Jurnal Zarah* 11(1): 18–24
- Pan C, Hassan SS ul, Muhammad I, Jin H. 2024. Marine Fungi as A Goldmine for Novel Antibiotics: A 2024 Perspective. *Frontiers in Marine Science* 11(1): 1–12. DOI: 10.3389/fmars.2024.1538136
- Papikinou MA, Pavlidis K, Cholidis P, Kranas D, Adamantidi T, Anastasiadou C, et al. 2024. Marine Fungi Bioactives with Anti-Inflammatory, Antithrombotic and Antioxidant Health-Promoting Properties Against Inflammation-Related Chronic Diseases. *Marine drugs* **22(11)**: 1–55. DOI: 10.3390/md22110520
- Pharm IJ, Gemantari BM, Romadhonsyah F, Nurrochmad A, Wahyuono S, Astuti P. 2020. Indonesian Journal of Pharmacy Bioactivity Screening of Endophytic Fungus *Eutypa linearis* Isolated from *Coleus amboinicus* (Lour.). **32(1**): 86–95
- Putra IPYA, Utami KS, Hardini J, Wirasuta IMAG, Ujam NT, Ariantari NP. 2023. Fermentation, Bioactivity and Molecular Identification of Endophytic Fungi Isolated from Mangrove *Ceriops tagal. Biodiversitas* **24**(5): 3091–3098. DOI: 10.13057/biodiv/d240565
- Qi SH, Xu Y, Xiong HR, Qian PY, Zhang S. 2009. Antifouling and Antibacterial Compounds from A Marine Fungus *Cladosporium* sp. F14. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **25**(3): 399–406. DOI: 10.1007/s11274-008-9904-2
- Qiu P, Xia J, Zhang H, Lin D, Shao Z. 2022. A Review of Diterpenes from Marine-Derived Fungi: 2009–2021. *Molecules* 27(23): 1–30. DOI: 10.3390/molecules27238303
- Raja HA, Miller AN, Pearce CJ, Oberlies NH. 2017. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community. *Journal of Natural Products* 80(3): 756–770. DOI: 10.1021/acs.jnatprod.6b01085
- Ravindran C, Varatharajan GR, Rajasabapathy R, Vijayakanth S, Kumar AH, Meena RM. 2012. A Role for Antioxidants in Acclimation of Marine Derived Pathogenic Fugus (NIOCC 1) to Salt Stress. *Microbial Pathogenesis* **53(3)**: 168–179. DOI: 10.1016/j.micpath.2012.07.004
- Rini AA, Rahmatan H. 2017. Skrining Fitokimia dan Uji Antibakteri Ekstrak Etanol Buah Kawista (Limonia acidissima L.) dari Daerah Kabupaten Aceh Besar Terhadap Bakteri Escherichia coli. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Unsyiah 2(1): 1–12

- Safwan S, Ridwan S, Kusuma WA. 2023. Diversity of Source, Chemistry, and Bioactivities of Secondary Metabolites from Algae-Associated and Sponge-Associated Fungi. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* **13(10)**: 45–58. DOI: 10.7324/JAPS.2023.133724
- Silber J, Kramer A, Labes A, Tasdemir D. 2016. From Discovery to Production: Biotechnology of Marine Fungi for The Production of New Antibiotics. *Marine Drugs* **14**(7): 1–20. DOI: 10.3390/md14070137
- Silber J, Ohlendorf B, Labes A, Wenzel-Storjohann A, Näther C, Imhoff JF. 2014. Malettinin E, An Antibacterial and Antifungal Tropolone Produced by A Marine Cladosporium Strain. *Frontiers in Marine Science* 1(1): 1–6. DOI: 10.3389/fmars.2014.00035
- Simorangkir M, Hutabarat W, Nainggolan B, Silaban S. 2019. Antioxidant and Antibacterial Activities of Non-Polar to Polar Solvent Extracts of Sarang Banua (*Clerodenrum fragrans* Vent Willd) Leaves. *Rasayan Journal of Chemistry* **12(2)**: 959–965. DOI: 10.31788/RJC.2019.1225095
- Wardaniati I, Yanti R. 2018. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Propolis Lebah Trigona (*Trigona itama*) Menggunakan Metode DPPH. *JOPS* **2**(**1**): 14–21
- Xu L, Meng W, Cao C, Wang J, Shan W, Wang Q. 2015. Antibacterial and Antifungal Compounds from Marine Fungi. *Marine Drugs* **13**(6): 3479–3513. DOI: 10.3390/md13063479
- Zhang Y, Xie CL, Wang Y, He XW, Xie MM, Li Y, Zhang K, Zou ZB, Yang LH, Xu R, Yang XW. 2023. Penidihydrocitrinins A–C: New Polyketides from the Deep-Sea-Derived *Penicillium citrinum* W17 and Their Anti-Inflammatory and Anti-Osteoporotic Bioactivities. *Marine Drugs* 21(10): 1–13. DOI: 10.3390/md21100538