

JURNAL METAMORFOSA
Journal of Biological Sciences
ISSN: 2302-5697
<http://ojs.unud.ac.id/index.php/metamorfosa>

Kapang amilolitik asal Biosite Hutan Pelangi, Ijen Geopark, Indonesia

Amylolytic molds from Rainbow Forest Biosite, Ijen Geopark, Indonesia

Sutoyo Sutoyo¹, Safira Isti'nafil Islam², Esti Utarti³, Sattya Arimurti⁴, Siswanto⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Sarjana Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember,
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

*Email: siswanto.fmipa@unej.ac.id

INTISARI

Vegetasi Hutan Pelangi, Ijen Geopark sudah terkonservasi sejak lama, sehingga kemungkinan di dalamnya terdapat diversitas mikrobiota yang potensial sebagai agen hayati pendegradasi berbagai substrat organik. Keberadaan dan pertumbuhan mikroba dalam lingkungan Hutan Pelangi berperan penting dalam membentuk proses antara lain siklus karbon, sehingga keberadaan mikroorganisme tersebut menarik untuk dikaji secara mikrobiologi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan isolat yang mampu mendegradasi substrat amilum secara semikuantitatif dan identifikasi secara morfologi sampai tingkat genus terhadap isolat terpilih. Penelitian diawali dengan isolasi, skrining kapang amilolitik serta identifikasinya secara fenotip terhadap isolat yang potensial aktivitas degradasinya tinggi. Hasil penelitian diperoleh 34 isolat kapang yang menunjukkan keragaman berbeda secara morfologi koloninya dan aktivitasnya dalam menghidrolisis amilum. Sejumlah 22 isolat (64,7%) menunjukkan aktivitas amilolitik dan 12 isolat (35,29%) merupakan kapang non-amilolitik. Hasil ANOVA rata-rata indeks aktivitas amilolitik isolat kapang dan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa isolat kapang IHP30, IHP10, dan IHP9 merupakan tiga isolat kapang amilolitik dengan indeks aktivitas amilolitik tertinggi. Indeks aktivitas masing-masing yaitu isolat kapang IHP30 sebesar $1,65 \pm 0,14$; IHP10 sebesar $1,47 \pm 0,31$; dan IHP9 sebesar $1,17 \pm 0,06$. Berdasarkan karakteristiknya, masing-masing teridentifikasi sebagai *Penicillium* sp. IHP30, *Penicillium* sp. IHP10, dan *Aspergillus* sp. IHP9.

Kata kunci: kapang, amilolitik, serasah, Biosite Hutan Pelangi, Ijen Geopark

ABSTRACT

Rainbow Forest Vegetation, Ijen Geopark, has been conserved for a long time, so it is possible that there is a potential microbiota diversity as a biological agent to degrade various organic substrates. Existence in the vegetation environment of Rainbow Forest, microorganisms that grow, among others, have played an essential role in shaping the long-lasting process of carbon and nitrogen cycling. The presence of these microorganisms in both cycles has been engaging for microbiological studies. This study aims to explore the presence of microorganisms, especially amylolytic moulds. The research design went through the stages of isolation and screening of amylolytic moulds, testing the potential for semiquantitative and quantitative activity and phenotypic and molecular identification. The results obtained 34 mould isolates that showed different diversity in colony morphology and their activity in hydrolysing amylum. A total of 22 isolates (64.7%) showed amylolytic activity, and 12 isolates (35.29%) were non-amylolytic moulds. ANOVA results and Duncan tests showed that three amylolytic mould isolates had the highest amylolytic activity: mould isolates of IHP30, IHP10, and IHP9. The activity index of each isolate is IHP30 mould isolate of 1.65 ± 0.14 , IHP10 of 1.47 ± 0.31 , and IHP9 of

1.17 ± 0.06 . Based on their characteristics, each was identified as *Penicillium* sp. IHP30, *Penicillium* sp. IHP10, and *Aspergillus* sp. IHP9.

Keywords: *amylolytic mould, litter, Rainbow Forest, Ijen Geopark.*

PENDAHULUAN

Hutan Pelangi merupakan wilayah pengelolaan kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) (BSN, 2018). Hutan ini merupakan Situs Biologi dari Geopark Nasional Ijen. Lokasinya berada pada titik koordinat $114^{\circ}0'9.77''$ E / $7^{\circ}50'56.58''$ S. Luas hutan adalah 23,6 Ha terdiri dari vegetasi dengan jenis tanaman tinggi beriklim basah. Keberadaan faunanya beranekaragam yang ditunjang oleh adanya ketersediaan makanan berupa dedaunan, biji-bijian, dan buah-buahan (Orwa *et al.*, 2021).

Serasah dari vegetasi dan fauna yang telah mati, akan membentuk tanah lantai Hutan Pelangi yang terkonservasi, sehingga menjadi sumber kehidupan mikroorganisme pendegradasi. Oleh karena itu akan dilakukan eksplorasi diversitas mikrobiota di kawasan Hutan Pelangi. Tujuan eksplorasi untuk menggali potensinya sebagai agen hayati pendegradasi berbagai substrat organik dan aplikasi lainnya. Pertumbuhan mikroba dalam lingkungan vegetasi Hutan Pelangi, antara lain berperan penting dalam membentuk proses siklus karbon. Mikroorganisme yang terlibat dalam siklus ini menarik untuk dikaji keragaman fisiologinya, terutama kingdom jamur kelompok kapang asal tanah hutan yang bersifat amilolitik. Studi dan pengembangan potensi kapang amilolitik berperan penting dalam bidang pertanian dan industri yang ramah lingkungan (Sandoval dan Hyster, 2020).

Biomassa tanah hutan tidak hanya terdiri atas substrat lignoselulosa saja akan tetapi juga terdiri atas sumber bahan organik amilosa dari tumbuhan. Keberadaan komunitas mikroorganisme untuk mendegradasi sumber organik dalam tanah hutan tidak hanya berkaitan dengan sifat lignolitik tetapi juga mikroorganisme yang amilolitik (Krishna dan Mohan, 2017). Penelitian dan publikasi tentang kapang amilolitik asal Hutan Pelangi belum ditemukan. Aktivitas degradasi oleh jamur kelompok kapang akan mempercepat dekomposisi biomassa menjadi senyawa organik. Hal tersebut mendukung pertumbuhan mikroorganisme lainnya serta pembentukan mineral yang akhirnya memperbaiki struktur tanah yang baik untuk tumbuhan (Swarnalatha dan Reddy, 2011). Penelitian bertujuan untuk eksplorasi keragaman jamur khususnya kapang asal serasah melalui isolasi, skrining, dan analisis potensi isolat kapang secara semi kuantitatif terhadap aktivitas amilolitiknya.

BAHAN DAN METODE

Isolasi Kapang

Sampel sebagai sumber isolat berupa tanah serasah asal Hutan Pelangi, Biosite Ijen Geopark. Pengambilan tanah dilakukan secara acak pada berbagai titik kemudian dikompositkan. Tanah selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisa. Sampel tanah yang telah diperoleh selanjutnya dibuat pengenceran 10^{-1} sampai dengan 10^{-9} , kemudian setiap pengenceran tersebut diinokulasikan menggunakan metode cawan tuang ke cawan Petri yang telah berisi PDA. Kultur diinkubasi pada suhu 30°C selama 72 jam. Berbagai galur jamur yang diperoleh selanjutnya disubkulturkan dan dimurnikan hingga diperoleh galur murni (Okunwaye *et al.*, 2021).

Skrining Kapang Amilolitik

Jamur yang telah tumbuh pada cawan Petri PDA selanjutnya diskriming kemampuannya dalam menghasilkan aktivitas hidrolisis terhadap substrat amilum atau pati. Jenis media uji yang digunakan yaitu media selektif *Soluble Starch Agar* (SSA). Isolat dengan aktivitas amilolitik positif akan menunjukkan pembentukan zona bening di sekitar koloni setelah ditetesi larutan yodium Gram. Kemampuan isolat jamur dalam menghidrolisis pati ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekeliling koloni (Sujeeta *et al.*, 2017).

Deteksi adanya aktivitas amilase berdasarkan tidak adanya ikatan kompleks amilum-iodin berwarna biru tua setelah penambahan larutan yodium Gram. Reaksi yang positif adanya degradasi

amilum yaitu terbentuknya zona degradasi pada area pertumbuhan yang tidak berwarna biru atau bening (Toye, 2009). Uji aktivitas amilolitik dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Aktivitas amilolitik isolat kapang secara semi kuantitatif ditentukan berdasarkan nilai indeks aktivitas amilolitik yang dirumuskan dengan persamaan oleh Hankin dan Anagnostakis (1975) sebagai berikut:

$$\text{Indeks Amilolitik} = \frac{\text{Diameter Zona Bening} - \text{Diameter Koloni}}{\text{Diameter Koloni}}$$

Isolat murni kapang penghasil amilase yang menunjukkan zona degradasi selanjutnya ditumbuhkan pada Media PDA miring dan disimpan dalam lemari pendingin sampai dibutuhkan.

Identifikasi Kapang Terpilih

Karakterisasi isolat kapang ditentukan berdasarkan isolat dengan nilai indeks amilolitik tertinggi. Tiga isolat kapang dengan indeks amilolitik tertinggi dikarakterisasi secara morfologis makroskopis dan mikroskopis. Karakterisasi isolat kapang dilakukan pada media MEA (Samson *et al.*, 2004). Morfologi makroskopis jamur yang diamati adalah diameter koloni, permukaan koloni, tekstur koloni, warna koloni bagian atas, pigmentasi koloni bagian bawah, bentuk koloni, zonasi pertumbuhan koloni, garis radial, zona konsentris dan eksudasi (Fifendy, 2019). Warna koloni dan pigmentasi diamati dengan standar warna menurut British Standard Colour.com (2023).

Morfologi mikroskopis kapang diamati dengan metode slide kultur. Slide kultur isolat jamur disiapkan dengan meletakkan media PDA di atas kaca objek, kaca objek diletakkan pada cawan Petri dengan batang kaca U di dalamnya. Isolat kapang diinokulasikan dengan jarum ujung runcing di atas media PDA pada kaca objek, dan diinkubasi selama 96 jam dalam inkubator pada suhu 30°C. Morfologi mikroskopis jamur yang diamati adalah ciri miselium, organ reproduksi seksual, dan aseksual. Ciri miselium yang diamati adalah percabangan dan tipe hifa (ada tidaknya sekat pada hifa). Organ reproduksi diamati ada tidaknya spora seksual dan aseksual, konidiofor, percabangan konidiofor, bentuk konidia, ada tidaknya sekat pada konidia, khlamidiospora, stolon, dan rizoid (Chamekh *et al.*, 2019). Pengamatan karakter morfologi kapang dilanjutkan dengan identifikasi dan determinasi. Identifikasi genus kapang disesuaikan dengan buku identifikasi dan kunci determinasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan Pemurnian Kapang

Pertumbuhan dan morfologi kultur semua isolat hasil isolasi dalam media PDA dalam cawan agar menunjukkan karakter jamur berfilamen atau kapang dengan tekstur yang beragam seperti kapas, berpasir, dan bertepung. Karakter lainnya yang unik pada setiap isolat yaitu warna koloni dan pigmentasi. Keragaman morfologi jenis kapang antar isolat kapang diamati berdasarkan variasi warna dan tekstur koloni (Aboumama *et al.*, 2023). Berdasarkan variasi karakter morfologi makroskopis tersebut, maka isolasi dan pemurnian kapang didapatkan 34 isolat kapang (Gambar 1).

Isolat kapang yang diperoleh pada penelitian ini berasal dari serasah kawasan Hutan Pelangi. Serasah tersebut terbentuk dari berbagai bagian tumbuhan yang telah mati dan menjadi habitat mikroorganisme dekomposer. Kapang saprofit umumnya mampu hidup dan tumbuh dengan mengurai bahan organik yang tersedia dilingkungan sekitarnya (Crowther *et al.*, 2012). Ketersediaannya di alam yang terjaga kondisi ekologi telah terkonservasi dengan baik dan menjadi sumber keanekaragaman hayati mikroorganisme yang penting.



a) tampak depan b) tampak belakang

Gambar 1. Kultur murni isolat jamur asal serasah kawasan Biosite Biologi Hutan Pelangi Geopark Ijen

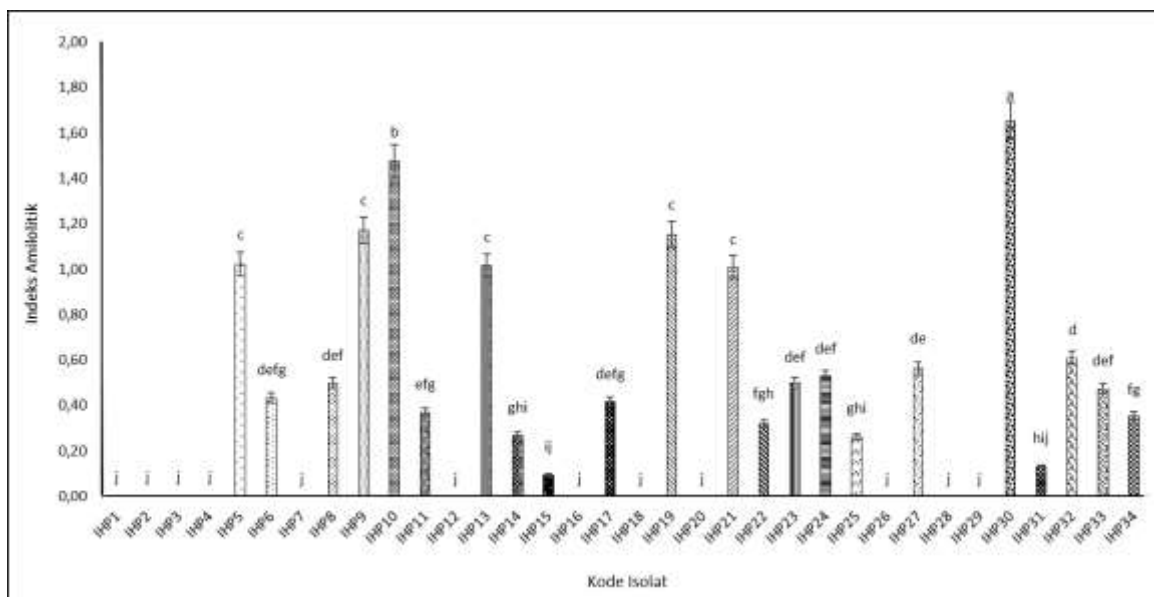
Uji Aktivitas Amilolitik

Berdasarkan hasil uji aktivitas amilolitik, isolat kapang dengan aktifitas amilolitik positif menunjukkan pembentukan zona bening disekitar koloni. Zona bening disekitar koloni terbentuk karena adanya kapang yang mampu menghidrolisis amilum (Gambar 2c). Sedangkan isolat kapang dengan uji aktivitas negatif tidak menunjukkan zona bening di sekitar koloni (Gambar 2b). Cawan media kontrol dibuat sebagai pembandingan tanpa ditumbuhi kultur isolat menunjukkan warna ungu kehitaman setelah pemberian larutan iodine (Gambar 2a). Potensi aktivitas amilolitik isolat kapang dapat diukur berdasarkan pengukuran indeks enzimatis (Laloknnam *et al.*, 2009).



Gambar 2. Aktivitas amilolitik secara semikuantitatif isolat kapang asal Biosite Hutan Pelangi

Aktivitas koloni isolat kapang pada media SSA menunjukkan pertumbuhan dan diameter zona bening yang berbeda. Gambar 3 menunjukkan hasil uji aktivitas amilolitik secara semikuantitatif terhadap 34 isolat kapang yaitu sebanyak 22 isolat positif (64,71%) dan 12 isolat tidak menunjukkan aktivitas amilolitik (35,29%). Berdasarkan analisis ANOVA dengan Program R Studio dengan $p < 5\%$ kemampuan aktivitas amilolitik antar isolat jamur menunjukkan perbedaan yang nyata. Tujuh isolat kapang menunjukkan nilai indeks amilolitik lebih besar dari 1, empat isolat menunjukkan nilai indeks amilolitik dalam rentang nilai 0,5 hingga kurang dari 1, dan 11 isolat lainnya menunjukkan nilai kurang dari 0,5.



Gambar 3. Aktivitas amilolitik secara semi kuantitatif isolat asal serasah Hutan Pelangi Bondowoso. Grafik batang dengan notasi berbeda menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$).

Pengukuran indeks amilolitik menunjukkan tiga isolat kapang dengan indeks amilolitik tertinggi yaitu IHP30, IHP10, dan IHP9. Nilai indeks amilolitik secara berturut-turut yaitu $1,65 \pm 0,14$, $1,47 \pm 0,31$, dan $1,17 \pm 0,06$. Isolat kapang yang menunjukkan aktivitas amilolitik terendah adalah isolat IHP31 dengan nilai indeks amilolitik $0,13 \pm 0,03$. Hasil penelitian tidak memperoleh isolat kapang dengan nilai indeks amilolitik lebih dari 2. Kapang dengan nilai indeks amilolitik lebih dari 2 dinilai sebagai produsen amilase yang baik (Batista *et al.*, 2022).

Perbedaan nilai indeks amilolitik setiap isolat kapang disebabkan oleh kemampuan menghidrosiss amilum yang berbeda. Sukmawati *et al.* (2019) melaporkan bahwa isolat kapang yang teridentifikasi sebagai *Aspergillus versicolor* menghasilkan nilai indeks amilolitik 1,298. Penelitian lain oleh Fifendy *et al.* (2019) menunjukkan bahwa isolat yang teridentifikasi sebagai *Penicillium expansum* menghasilkan nilai indeks amilolitik 1,5. Percobaan oleh Batista *et al.* (2022) menghasilkan indeks amilolitik tertinggi 3,5 oleh kapang yang teridentifikasi sebagai *Guignardia* sp, dan *Penicillium* sp dengan indeks amilolitik 3,4. Menurut Balkan *et al.* (2012), aktivitas amilolitik kapang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan pertumbuhannya seperti pH, suhu, dan kelembapan. Abdulaal (2018); Pasin *et al.* (2019); dan Wang *et al.* (2020) menyatakan bahwa Jenis kapang yang berbeda kondisi pH dan suhu optimal. Selain itu, komposisi nutrisi dan substrat media yang digunakan juga menjadi faktor kemampuan kapang dalam menghidrolisis pati. Jenis kapang, strain, dan faktor genetik kapang juga berperan dalam kemampuan kapang dalam menghidrolisis pati (Xiong *et al.*, 2017).

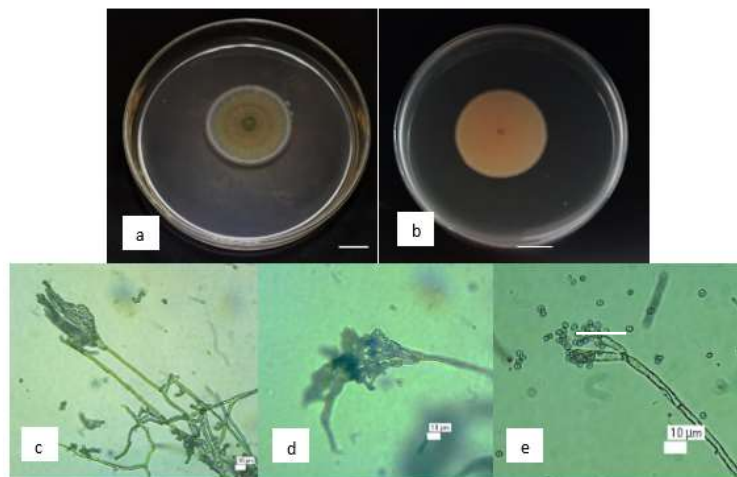
Kapang menghidrolisis amilum dengan melepaskan enzim amilase (Berbee *et al.*, 2017). Hidrolisis amilum oleh kapang menghasilkan produk akhir monomer seperti dextrin, maltosa, dan glukosa yang akan diserap kapang sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya (Rodwell *et al.*, 2015). Penambahan Iodin Gram sebagai pewarna pada area amilum yang terhidrolisis menjadi jernih karena tidak ada ikatan pewarna tersebut dengan produk hidrolisat oleh amilase. Kemampuan tiga isolat penghasil amilase hasil skrining (IHP30, IHP10, dan IHP9) berpotensi untuk pengembangan isolat kapang amilolitik yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang pengelolaan lingkungan, pertanian, dan industri. Akan tetapi diperlukan optimasi secara fisiologi agar supaya indeks aktivitasnya meningkat.

Karakterisasi dan Identifikasi Isolat Kapang Amilolitik Potensial

Isolat kapang dengan nilai indeks amilolitik tertinggi yaitu isolat kapang IHP30, IHP10, dan IHP9. Ketiganya dikarakterisasi berdasarkan ciri morfologi makroskopis dan mikroskopis. Karakter yang diamati diterminasi dengan buku panduan identifikasi jamur yaitu “Introduction to Food and Airborne Fungi”. Karakterisasi isolat jamur menggunakan media MEA yang merupakan media yang banyak digunakan untuk karakterisasi dan identifikasi jamur (Samson *et al.*, 2004).

Pengamatan morfologi koloni menunjukkan bahwa ketiga koloni isolat kapang tumbuh dan membentuk konidia sebagai organ reproduktif aseksual pada miselium vegetatif (Gambar 4, 5, dan 6). Konidia ketiga koloni terbentuk pada ujung *konidiospore* dan tidak dalam organ *asci*. Miselium ketiga isolat kapang memiliki septa. Ketiga isolat dikelompokkan ke dalam kelompok jamur *Deutromycetes* (Samson *et al.*, 2004).

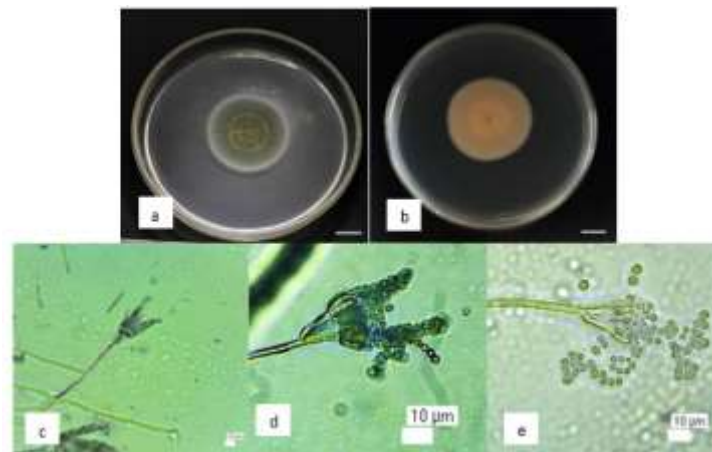
Karakteristik morfologi isolat kapang IHP30 secara makroskopis menunjukkan koloni berwarna *light olive green* dengan tepian berwarna *deep brunswick green*; warna balik koloni *light stone*; bentuk koloni *circular* dengan garis radial dan cincin konsentris; tekstur koloni bertepung dan tepian rata (Gambar 4a dan 4b). Karakteristik morfologi struktur mikroskopis isolat jamur IHP30 menunjukkan hifa bercabang dan bersepta; konidiofor bercabang dengan tipe percabangan satu tingkat (*biverticillate*), terdapat organ *phialid*, dan menunjukkan tipe konidiofor *simple*; *phialid* berbentuk labu; konidia berbentuk bulat, berantai lurus memanjang dan tampak kering (Gambar 4c, 4d, dan 4e). Berdasarkan karakteristik morfologis yang teramati dan kunci determinasi menurut Samson *et al.* (2004) dan Visagie *et al.* (2014), isolat IHP30 termasuk dalam genus *Penicillium*.



a) Morfologi makroskopis permukaan atas, b) Morfologi makroskopis permukaan bawah, c) Morfologi mikroskopis hifa dan konidiofor, d) bentuk kepala konidiofor, percabangan konidiofor, phialid, dan konidia, e) kepala konidiofor, percabangan konidiofor, dan konidia

Gambar 4. Morfologi makroskopis dan mikroskopis isolat kapang IHP30

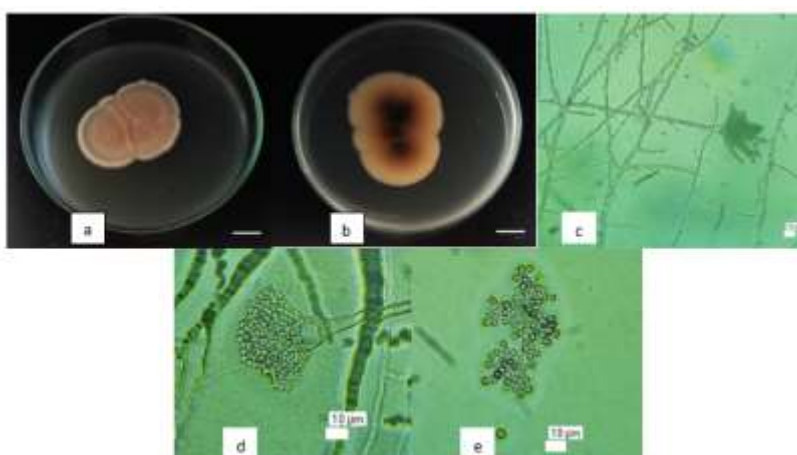
Karakteristik morfologi koloni isolat kapang IHP10 berwarna *forest green* dengan tepian berwarna *light aircraft grey*; warna sisi belakang koloninya menunjukkan warna *sky* dengan warna center *beige*; koloni berbentuk *circular*, memiliki garis radial, dan cincin konsentris; Koloni memiliki tekstur bertepung dan bertepi rata (Gambar 5a dan 5b). Karakteristik struktur mikroskopisnya menunjukkan hifa bercabang dan bersekat; konidiofor bercabang dengan tipe percabangan satu tingkat (*biverticillate*); terdapat organ *phialid*, dan tipe konidiofor *simpel*. bentuk labu dengan konidia berbentuk bulat, tampak kering, berantai lurus memanjang (Gambar 5c, 5d, dan 5e). Berdasarkan ciri morfologi secara makroskopis dan mikroskopis yang teramati isolat kapang IHP10 termasuk dalam genus *Penicillium*.



- a) Morfologi makroskopis permukaan atas isolat kapang IHP10, b) Morfologi makroskopis permukaan bawah isolat kapang IHP10, c) Morfologi mikroskopis hifa dan konidiofor perbesaran 400x, d) bentuk kepala konidiofor, percabangan konidiofor, phialid, dan konidia perbesaran 400x, e) kepala konidiofor, percabangan konidiofor, bentuk phialid, dan konidia perbesaran 400x

Gambar 5. Morfologi makroskopis dan mikroskopis isolate kapang IHP10

Hasil pengamatan isolat setelah masa inkubasi 5 hari kapang IHP9 menunjukkan morfologi koloni berwarna *deep buff* dengan tepian berwarna *spruce green*; warna balik koloni *light stone* dengan warna tengah koloni *dark brown*; berbentuk *irregular* menunjukkan garis radial dan konsentris; tekstur halus bertepung, tepian koloni rata dengan batas jelas, dan konidia berwarna coklat muda (Gambar 6a dan 6b). Karakteristik struktur mikroskopis isolat kapang IHP9 menunjukkan hifa bercabang dan besepta; konidiofor tegak, tidak bercabang, dan menunjukkan vesikel yang membengkak pada ujungnya (Gambar 6c). terdapat pada ujung konidiofor yang membengkak (Gambar 6d); konidia terdapat pada kepala konidiofor terhubung langsung pada vesikel, berbentuk bulat, menunjukkan rantai kering dan rantai konidia bertipe *radiate* (menyebar). Berdasarkan ciri morfologis yang teramati isolat IHP9 diduga termasuk dalam genus *Aspergillus*.



- a) Morfologi makroskopis permukaan atas isolat IHP9, b) Morfologi makroskopis permukaan bawah isolat IHP9, c) Morfologi Mikroskopis hifa dan konidiofor isolat IHP9 perbesaran 400x, d) bentuk kepala konidiofor, konidia, dan vesikel perbesaran 400x, e) konidia perbesaran 400x

Gambar 6. Karaktersitik makroskopis dan mikroskopis isolat kapang IHP9

Penicillium sp. IHP30 dan IHP10 serta *Aspergillus* sp. IHP9 adalah tiga spesies kapang amilolitik asal Biosite Hutan Pelangi yang potensial sebagai agen jamur perombak bahan organik amilum. Menurut Simanungkalit *et al.* (2006), konversi secara biologi bahan organik dalam kompos dapat dipercepat dengan aplikasi bioaktivator jamur *A. niger*, *A. terreus*, dan *Penicillium* sp. Jamur asal tanah merupakan kelompok mikroorganisme yang menunjukkan aktivitas biodekomposisi paling signifikan. Hasil dekomposisi bahan organik tanah yang terurai menjadi senyawa organik sederhana akan berfungsi sebagai penukar ion dasar yang menyimpan dan melepaskan nutrisi di sekitar tanaman (Eriksson *et al.*, 1989).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 34 isolat kapang asal dari serasah Hutan Pelangi Ijen Geopark terdiri atas 22 isolat kapang amilolitik (64,70%) dan 12 isolat (35,29%) merupakan kapang non-amilolitik. Pengukuran indeks amilolitik menunjukkan tiga isolat kapang dengan indeks amilolitik tertinggi yaitu IHP30, IHP10, dan IHP9. Nilai indeks amilolitik tersebut secara berturut-turut yaitu $1,65 \pm 0,14$, $1,47 \pm 0,31$, dan $1,17 \pm 0,06$. Karakterisasi terhadap isolat kapang IHP30, IHP10, dan IHP9 masing-masing teridentifikasi sebagai genus yaitu *Pencillium* sp. IHP30, *Pencillium* sp. IHP10, dan *Aspergillus* sp. IHP9.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Tim Kelompok Riset-Dimas Tahun 2022: Microbial Diversity In Agroindustry System yang telah menyediakan sampel sumber isolat. Penelitian ini didanai oleh Hibah Keris Abdimas Tahun 2023, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Jember.

KEPUSTAKAAN

- Abdulaal, W. H. 2018. Purification and characterisation of α -amylase from *Trichoderma pseudokoningii*. *BMC Biochemistry*, 19(1), 1-6.
- Abouamama, S., B. Anis, S. Abir, H. Maroua, and B. Sirine. 2023. Amylolytic and antibacterial activity of filamentous fungi isolated from the rhizosphere of different plants grown in the Tamanghasset region. *Heliyon*, 9(3).1-9.
- Balkan, B., H. Aydogdu, S. Balkan, and F. Ertan, 2012. Amylolytic activities of fungi species on the screening medium adjusted to different pH. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 5(1), 1-12.
- Batista, B. N., R.R. Matias, R. L. E. Oliveira, and P.M. Albuquerque. 2022. Hydrolytic enzyme production from açai palm (*Euterpe precatoria*) endophytic fungi and characterization of the amylolytic and cellulolytic extracts. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(2), 1-13.
- Berbee, M. L., T. Y. James, and C. Strullu-Derrien. 2017. Early diverging fungi: diversity and impact at the dawn of terrestrial life. *Annual Review of Microbiology*, 71, 41-60.
- British Standard Colour.com. 2023. <https://www.britishstandardcolour.com>.
- BSN. 2018. Pengelolaan Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK). <https://bsilhk.menlhk.go.id/standarlhk/wpcontent/uploads/2022/08/13-SNI-8513-2018-Pengelolaan-kawasan-hutan-dengan-tujuan-khusus-KHDTK>.
- Chamekh, R., F. Deniel, C. Donot, J.L. Jany, P. Nodet, and L. Belabid. 2019. Isolation, identification and enzymatic activity of halotolerant and halophilic fungi from the Great Sebkh of Oran in Northwestern of Algeria. *Mycobiology*, 47(2), 230-241.

- Crowther, T.W., L. Boddy, and J.T. Hefin. 2012. Functional and ecological consequences of saprotrophic fungus-grazer interactions. *ISME Journal*. Nov;6(11):1992-2001. doi: 10.1038/ismej.2012.53.
- Eriksson, K.E.L., R.A. Blanchette, and P. Ander. 1989. Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components. Springer. Verlag Heidelberg. New York.
- Hankin, L. and S.L. Anagnostakis. 1975. The use of solid media for detection of enzyme production by fungi. *Mycologia*, 67(3), 597-607.
- Krishna, M.P. and M. Mohan. 2017. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy. Ecology Environment*. 2(4):236–249.
- Laloknam, S., S. Sirisopana, P. Attaphinyo, S. Poohuarai, and S. Phornphisutthimas. 2009. Detection of amylase activity from fruit and vegetables in an undergraduate classroom. *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2(3), 402-411.
- Okunwaye, T., P.O Uadia, B.O. Okogbenin, E.A Okogbenin, D.C. Onyia, and J.U. Obibuzor. 2021. Amylase-Producing Fungi and Bacteria Associated with Some Food Processing Wastes. *Nigeria Journal Biotechnology*. Vol. 38 (1): 74-82.
- Orwa, C., A. Muta, R. Kindt, R. Jamnadass, and A. Simons. 2021. Geopark, *Buku Pintar Ijen Geopark Wilayah Bondowoso "Eucalyptus deglupta," Agrofrestre Databasea tree refrence Sel. Guid. version 4.0*, vol. 0, pp. 1–5, 2009. Bondowoso.
- Pasin, T. M., E. dos Anjos Moreira, R.C. de Lucas, V.M. Benassi, L.S. Ziotti, M. Cereia, and M.D.L.T. D.M. Polizeli. 2020. Novel amylase-producing fungus hydrolyzing wheat and brewing residues, *Aspergillus carbonarius*, discovered in tropical forest remnant. *Folia Microbiologica*, 65, 173-184.
- Rodwell, V.W., D.A. Bender, K.M. Bhotam, P.J. Kennelly, and P.A. Weil. 2015. *Harper's Illustrated Biochemistry*, 30th Ed. McGraw-Hill Education(Asia) and EGC Medical Publisher. Terjemahan oleh L. R. Manurung. 2016. *Biokimia Harper*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Samson, R. A., E.S. Hoekstra, and J.C. Frisvad. 2004. *Introduction to food-and airborne fungi* (No. Ed. 7). Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS).
- Samson, R.A.; Visagie, C.M.; Houbraken, J.; Hong, S.-B.; Hubka, V.; Klaassen, C.H.W.; Perrone, G.; Seifert, K.A.; Susca, A.; Tanney, J.B.; Varga, J.; Kocsubé, S.; Szigeti, G.; Yaguchi, T.; Frisvad, J.C. 2014. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Studies in Mycology*, Volume 78, Number 1, 1 June 2014, pp. 141-173(33). <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.07.004>.
- Sandoval, B.A. and T.K. Hyster. 2020. Emerging Strategies for Expanding The Toolbox of Enzymes in Biocatalysis. *Current Opinion Chemical Biology*, 55, 45–51.
- Simanungkalit, R.D.M., D.A. Suriadikarta, R. Saraswati, D. Setyorini, dan W. Hartatik. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Sujeeta, K. M., M. Shikha, and S. Khushboo. 2017. Isolation and screening of amylase producing fungi. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 783-788.
- Sukmawati, D., R.P. Larasati, T.H. Kurniati, Z. Arman, and H.A. El Enshasy. 2019. Moulds isolated from the chicken feed as potential amylase resources. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(11), 188-196.
- Swarnalatha, B. and M.V. Reddy. 2011. Leaf litter breakdown and nutrient release in three tree plantations compared with a natural degraded forest on the coromandel coast (Puducherry, India). *Ecotropica* 17:39–51.
- Toye, E. 2009. Laboratory production and assay of amylase by fungi and bacteria manual. UW-Washington County. 1-7.

- Visagie, C.M.; J. Houbraken, J.C. Frisvad, S.B. Hong, C.H.W. Klaassen, G. Perrone, K.A. Seifert, J. Varga, T. Yaguchi, and R.A. Samson. 2014. Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in Mycology*, (78)1. 343-371. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.001>.
- Wang, Y.C., H.F. Hu, J.W. Ma, Q.J. Yan, H.J. Liu, and Z.Q. Jiang. 2020. A novel high maltose-forming α -amylase from *Rhizomucor miehei* and its application in the food industry. *Food Chemistry*, 305: 125-447.
- Xiong, Y., V.W. Wu, A. Lubbe, L. Qin, S. Deng, M. Kennedy, and N.L. Glass. 2017. A fungal transcription factor essential for starch degradation affects the integration of carbon and nitrogen metabolism. *PLoS Genetics*, 13(5), e1006737.
- Zulkifli, N. A. and L. Zakaria. 2017. Morphological and molecular diversity of *Aspergillus* from corn grain used as livestock feed. *HAYATI Journal of Biosciences*, 24(1), 26-34.