

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Fisik Ikan Mas Sinyonya

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa Ikan Mas Sinyonya memiliki karakteristik morfologi yang khas, tubuh berbentuk torpedo cenderung lebar, berisi, panjang keseluruhan ± 27 cm. Salah satu ciri khas Ikan Mas Sinyonya yang mencolok adalah mata yang tampak kecil (sipit). Bagian kepala cenderung membulat, dengan kontur halus tanpa tonjolan tajam. Ikan ini termasuk omnivora, dengan mulut berbentuk terminal dilengkapi sepasang sungut (*barbel*) pendek. Warna tubuh dominan kuning cerah keemasan yang menyelimuti hampir seluruh permukaan tubuh, mulai dari kepala sampai ekor. Gradasi warna kekuningan dengan aksentus jingga pada bagian sirip dan ekor, serta pola warna yang merata menjadikan ikan ini mudah dibedakan dari ras ikan mas lainnya. Variasi warna dan penampilan fisik tidak hanya berfungsi sebagai identitas fenotipik, tetapi juga memiliki implikasi ekonomi bagi pembudidaya. Kecerahan warna, bentuk dan kelengkapan fisik, serta kondisi kesehatan ikan menjadi faktor yang paling memengaruhi nilai ekonomi ikan (Ilhamdi *et al.*, 2020).

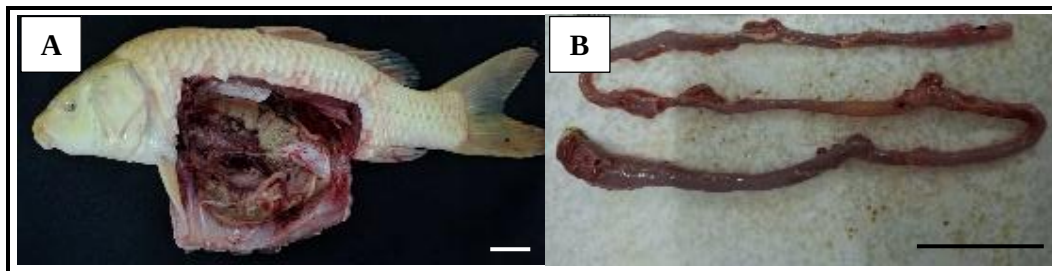


Gambar 4. 1 Karakteristik Fisik Ikan Mas Sinyonya. Garis Skala Menunjukkan 5 cm.

Pemeriksaan terhadap insang menunjukkan warna merah cerah, berfilamen halus, terlihat kondisi ikan dalam keadaan sehat dan tidak mengalami hipoksia. Lamela insang utuh dan tidak ada lesi ataupun bercak putih yang menjadi indikator infeksi jamur eksternal seperti *Saprolegnia* sp. pada ikan air tawar (Ali *et al.*, 2025; Ashour *et al.*, 2017). Sisik terlihat besar dan mengkilap, dengan distribusi sisik

merata dan padat. Sirip dorsal tunggal yang memanjang, sirip pectoral (dada) dan pelvic (perut) proporsional dan berwarna senada, sirip ekor (kaudal) bercabang dan lebar. Tidak ditemukan luka, bintik merah, atau lesi pada kulit dan sirip yang dapat mengindikasikan stress kronis atau kontaminasi lingkungan (Lindholm-Lehto & Pylkkö, 2024).

Hasil observasi anatomi memperlihatkan bahwa Ikan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kondisi saluran pencernaan yang baik. Kondisi tersebut ditandai dengan karakteristik saluran pencernaan yang utuh, dinding usus tidak terlihat tanda peradangan atau luka internal. Warna jaringan pencernaan tampak merah muda cerah dan tidak ada lendir berlebih maupun pembengkakan yang biasanya menjadi indikasi adanya gangguan patologis



Gambar 4. 2 Anatomi saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya. A. Tampilan anatomi internal Ikan Mas Sinyonya hasil pembedahan. B. Saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya. Garis Skala Menunjukkan 5 cm

Pengambilan sampel saluran pencernaan dilakukan dengan pertimbangan melihat kondisi saluran yang masih ada sisa-sisa makanan yang telah mengalami proses pencernaan. Hal ini bertujuan agar sampel yang diambil dapat mewakili aktivitas fisiologis yang masih berlangsung di dalam saluran pencernaan, terutama terkait proses penyerapan dan degradasi zat makanan. Panjang total saluran pencernaan yang diamati adalah sekitar 45 cm, kemudian dibagi menjadi sembilan bagian dengan masing-masing ukuran 2-3 cm. Pembagian ini dilakukan untuk memperoleh gambaran yang representatif terhadap setiap segmen saluran pencernaan, mulai dari bagian anterior hingga posterior.

B. Kondisi Lingkungan Pemeliharaan Ikan Mas Sinyonya

Ikan Mas Sinyonya yang digunakan dalam penelitian ini dipelihara dalam kolam/tambak dengan sistem air mengalir yang bersumber dari sungai sekitar Desa Bandung, Kecamatan Banjar, Kabupaten Pandeglang. Kolam pemeliharaan bersifat

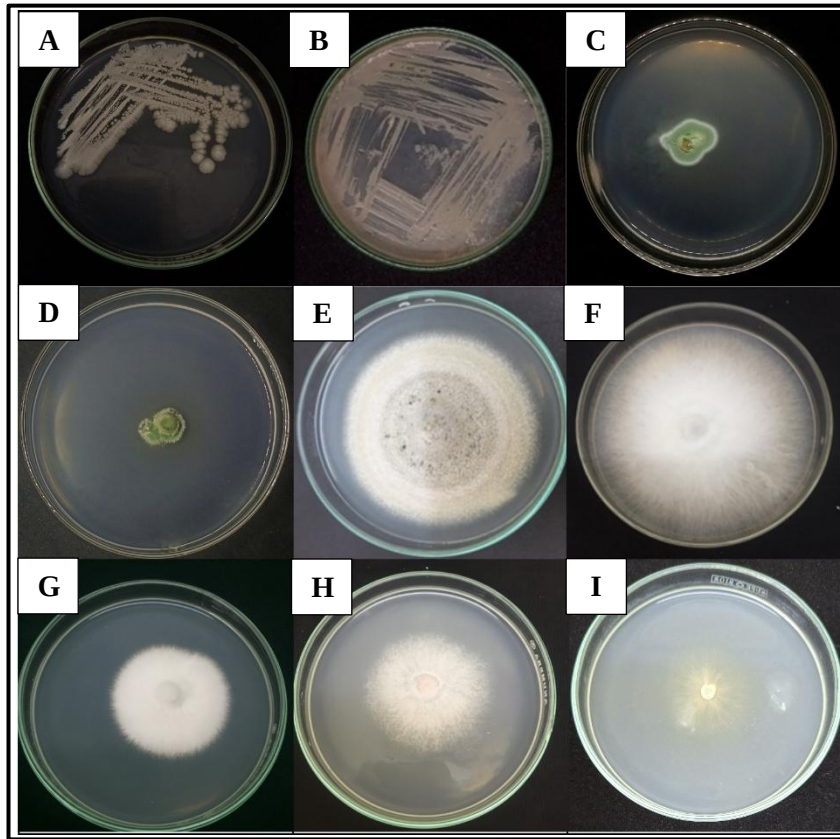
terbuka, sehingga sistem pencahayaan bergantung sepenuhnya pada sinar matahari alami, tanpa tambahan lampu buatan. Air kolam memiliki suhu berkisar 28°C dan pH 7,64, yang termasuk dalam rentang optimal bagi pertumbuhan ikan mas, yaitu suhu 25–30°C dan pH 6,5–8,0 (Ridwantara *et al.*, 2019; Mudlofar *et al.*, 2013).

Air sungai yang mengalir melalui area pemukiman berpotensi membawa bahan organik terlarut, sisa deterjen, maupun limbah domestik, yang menjadi media tumbuh bagi mikroorganisme saprofitik, termasuk fungi akuatik (Gu *et al.*, 2021). Sehingga, lingkungan pemeliharaan dapat menjadi faktor yang memengaruhi komposisi dan keragaman mikrobiota pencernaan ikan (Kanika *et al.*, 2025). Sumber air yang tercemar tetap memberikan peluang bagi pertumbuhan komunitas mikroba oportunistik.

Pakan ikan yang digunakan merupakan pakan organik berasal dari limbah pasca panen padi, keong sawah, dan cacing tanah. Komposisi tersebut mengandung protein, lemak, serat kasar dan karbohidrat kompleks yang berfungsi untuk mendukung pertumbuhan ikan (Nurasyifa *et al.*, 2025) dan pertumbuhan mikroorganisme komensal di saluran pencernaan, termasuk fungi yang berperan dalam biodegradasi dan fermentasi nutrient pakan (Ghosh *et al.*, 2023). Namun, penggunaan bahan pakan organik dari limbah pertanian dan hewan juga memiliki potensi risiko kontaminasi mikroba patogen apabila tidak melalui proses pengolahan (fermentasi atau pengeringan) yang tepat. Kondisi tersebut dapat memperbesar peluang kolonisasi fungi oportunistik yang berpotensi menyebabkan infeksi bila keseimbangan mikroba terganggu (Özcan & Arserim, 2022).

C. Keanekaragaman Fungi pada Pencernaan Ikan Mas Sinyonya

Berdasarkan hasil isolasi fungi, diperoleh total 9 isolat fungi yang terdiri atas 2 isolat khamir (*yeast*) dan 7 isolat kapang (*mold*). Identifikasi dilakukan berdasarkan karakteristik makroskopis koloni pada media pertumbuhan serta morfologi mikroskopis menggunakan mikroskop cahaya. Isolat yang tumbuh memiliki karakteristik morfologi yang berbeda (Gambar 4.3). Kode isolat disusun secara sistematis dengan akhiran “MIJS” untuk menunjukkan kelompok kapang, dan “YIJS” untuk kelompok khamir. Pemberian kode ini bertujuan untuk memudahkan proses pencatatan data morfologi, uji enzimatik, serta pembahasan lebih lanjut terkait potensi biologis masing-masing isolat.

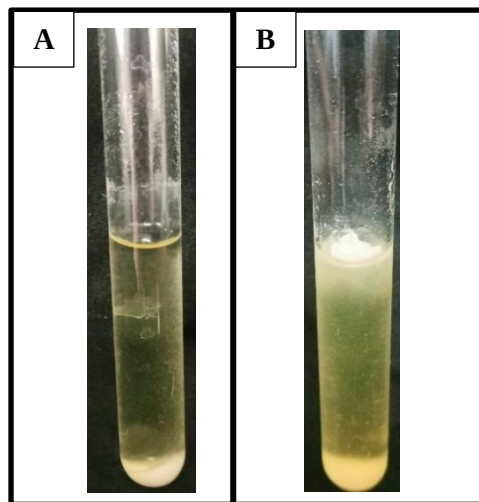


Gambar 4. 3 Keanekaragaman Morfologi Fungi Hasil Isolasi dari Saluran Pencernaan Ikan Mas Sinyonya. A. Isolat YIJS-1. B. Isolat YIJS-2. C. Isolat MIJS-1. D. Isolat MIJS-2. E. Isolat MIJS-3. F. Isolat MIJS-4. G. Isolat MIJS-5. H. Isolat MIJS-6. I. Isolat MIJS-7

Distribusi isolat menunjukkan bahwa keberadaan kapang lebih dominan ditemukan dibanding khamir. Kondisi ini erat kaitannya dengan kemampuan kapang yang lebih tinggi dalam memanfaatkan bahan organik kompleks melalui aktivitas enzim ekstraseluler yang dihasilkan. Perbedaan laju pertumbuhan dan adaptasi fisiologis antara kedua kelompok mikroorganisme tersebut dapat menjadi penyebab terjadinya dominansi kapang (Corbu *et al.*, 2023; Subramanian *et al.*, 2025; Long *et al.*, 2023). Hasil tersebut juga berpotensi dipengaruhi oleh keterbatasan metode kultur yang digunakan, sebab sebagian besar fungi, khususnya khamir, bersifat sulit dikultur (*unculturable*) atau hanya dapat dideteksi melalui pendekatan molekuler (Wu *et al.*, 2019).

D. Hasil Uji Fisiologis Khamir

Uji pertumbuhan khamir pada penelitian ini menggunakan *Sabouraud Dextrose Broth* (SDB). Hasil uji pertumbuhan menunjukkan bahwa semua isolat yang diuji memperlihatkan adanya sedimen atau endapan di dasar media pertumbuhan, namun hanya isolat YIJS-2 yang terbentuk pelikel pada permukaan media. Endapan yang dihasilkan isolat YIJS-1 berwarna putih dan isolat YIJS-2 memiliki endapan berwarna krem kekuningan. **Gambar 4.4.**



Gambar 4. 4 Pertumbuhan Khamir pada Media Cair (SDB). A. Isolat YIJS-1. B. Isolat YIJS-2.

Karakter pertumbuhan khamir dalam media cair dapat dipengaruhi oleh kemampuan sel dalam beragregasi dan menghasilkan gas CO₂ (Anggrayeni *et al.*, 2019). Kemampuan membentuk endapan di dasar media tanpa pembentukan pelikel pada permukaan mengindikasikan bahwa isolat khamir cenderung tumbuh sebagai sel bebas yang tidak beragregasi kuat dan memproduksi CO₂ dalam jumlah relatif rendah pada kondisi kultur yang digunakan. Khamir dengan karakter tersebut umumnya termasuk kelompok *bottom yeast*, di mana sel-sel mengendap akibat keterbatasan pembentukan agregat permukaan, sedangkan pembentukan pelikel lebih umum ditemukan pada *top yeast* yang menghasilkan CO₂ lebih cepat (Fleischmann & Sripuntanagoon, 2011).

Uji fermentasi karbohidrat juga dilakukan dalam penelitian ini sebagai pendekatan fisiologis untuk mengevaluasi kemampuan metabolisme khamir terhadap berbagai sumber karbon, khususnya dalam membedakan pola fermentatif dan non-fermentatif. Pada uji ini, *phenol red* digunakan sebagai indikator pH untuk mendeteksi produksi produk sampingan yang bersifat asam. Produksi asam pada media fermentasi karbohidrat ditandai dengan perubahan warna merah muda menjadi kuning. Perubahan pH menjadi asam menunjukkan adanya asimilasi karbohidrat sedangkan pembentukan gas (CO₂) mengindikasikan berlangsungnya jalur fermentasi yang menghasilkan produk akhir berupa etanol (Kurtzman *et al.*, 2011). (Tabel 4.1)

Tabel 4. 1 Hasil Uji Fermentasi Karbohidrat Khamir

Uji Fermentasi Karbohidrat						
Isolat	Glukosa		Maltosa		Sukrosa	
	Warna	Gelembung Udara	Warna	Gelembung Udara	Warna	Gelembung Udara
YIJS-1	Kuning	(+)	Kuning	(-)	Kuning	(-)
YIJS-2	Kuning	(-)	Kuning	(-)	Kuning	(-)

Keterangan: (+) : Ada
(-) : Tidak ada

Perbedaan fisiologis antara kedua isolat terletak pada kemampuan menghasilkan gas pada substrat glukosa, yang hanya teramati pada isolat YIJS-1. Pembentukan gelembung gas pada glukosa mengindikasikan bahwa isolat ini aktif melakukan fermentasi. Aktivitas fermentatif semacam ini umum dijumpai pada khamir fakultatif anaerob yang mampu beralih dari respirasi ke fermentasi ketika kondisi lingkungan atau ketersediaan oksigen berubah (Hutzler, 2025).

Sebaliknya, isolat YIJS-2 tidak menunjukkan pembentukan gas pada seluruh jenis gula, meskipun terjadi perubahan warna media. Perubahan warna media fermentasi dari merah menjadi oranye kemerahan hingga kuning pada uji fermentasi karbohidrat menunjukkan terjadinya pemanfaatan gula sebagai sumber karbon oleh isolat khamir, yang diikuti dengan produksi senyawa asam sehingga menyebabkan penurunan pH media. Pembentukan asam organik akan menggeser

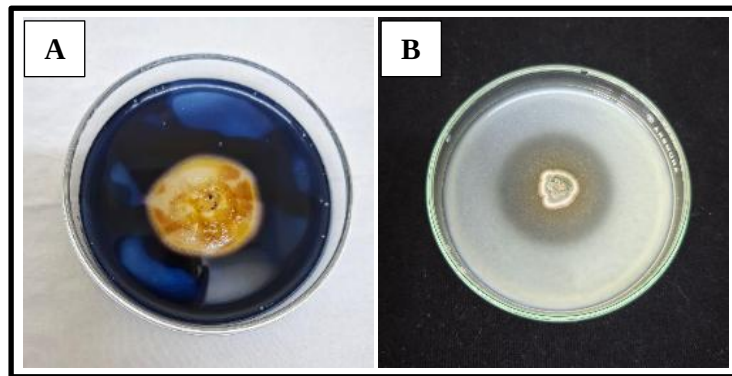
warna media menuju kuning. Khamir yang bersifat non-fermentatif atau lemah fermentatif, hanya menghasilkan asam tanpa gas dengan mengasimilasi karbohidrat sebagai substrat pertumbuhan (Anggraini *et al.*, 2022). Produksi gas dalam fermentasi dianggap sebagai indikator positif kemampuan khamir dalam melakukan fermentasi gula secara penuh, sedangkan kondisi hanya terjadi produksi asam tanpa gas lebih merepresentasikan kemampuan khamir dalam melakukan asimilasi atau metabolisme karbohidrat (Giri & Kindo, 2015)

E. Hasil Penapisan Isolat Berdasarkan Kemampuan Enzimatik

Keberadaan fungi pada pencernaan Ikan tidak selalu menandakan infeksi, melainkan dapat berfungsi sebagai mikroba komensal atau simbiosis yang ikut berperan dalam proses pencernaan dan dekomposisi senyawa organik kompleks dari pakan. Kondisi lingkungan kolam yang alami dan terbuka memungkinkan terjadinya pertukaran mikroba antara lingkungan perairan dan organisme akuatik. Sehingga, dalam penelitian ini juga dilakukan beberapa penapisan untuk menilai kemampuan isolat fungi. Penapisan ini dilakukan untuk mengevaluasi potensi isolat fungi hasil isolasi dari saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya dalam menghasilkan enzim hidrolitik yang relevan dengan degradasi nutrisi pakan.

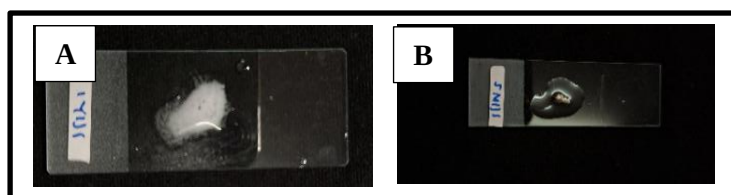
Enzim amilase berperan dalam proses hidrolisis polisakarida yaitu pati menjadi gula rantai pendek berupa maltosa atau glukosa sederhana yang dapat meningkatkan ketersediaan energi. Penapisan aktivitas amilase dilakukan menggunakan *starch agar*. Zona bening terbentuk di sekitar fungi pada media *starch agar* yang telah ditetesi lugol, menunjukkan adanya indikasi aktivitas fungi dalam menghasilkan enzim amilase (Kanak & Öztürk Yılmaz, 2025; Yalcin & Corbaci, 2013).

Protease berperan dalam pemecahan protein menjadi peptida dan asam amino, sehingga mendukung proses penyerapan nutrisi. Penapisan aktivitas protease menggunakan *skim milk agar*. Zona bening yang terbentuk pada media *skim milk agar* menunjukkan adanya aktivitas fungi dalam menghasilkan enzim protease (Champasri *et al.*, 2021).



Gambar 4. 5 Hasil Penapisan isolat dengan aktivitas enzim Amilase dan Protease. A. zona bening disekitar fungi pada media *starch agar*. B. zona bening disekitar fungi pada media *skim milk agar*.

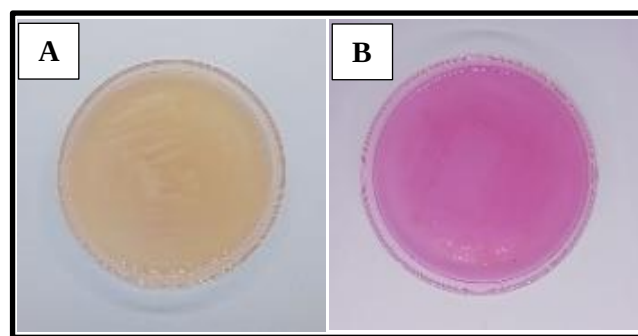
Enzim katalase bekerja dengan cara mengkatalisis pemecahan hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi senyawa non toksik berupa air (H_2O) dan oksigen (O_2) (Cretu, 2021). Metode pengujian dilakukan dengan cara meneteskan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) secara langsung pada koloni fungi hasil isolasi. Terbentuknya gelembung udara akibat pelepasan oksigen digunakan sebagai indikator aktivitas enzim katalase. Reaksi positif menunjukkan aktivitas katalase yang mendefinisikan kemampuan fungi dalam menetralkan H_2O_2 cukup efisien. Sebaliknya, hasil negatif menunjukkan tidak adanya aktivitas katalase yang mengindikasikan fungi tersebut memiliki peran antioksidan yang rendah atau tidak aktif dalam mekanisme pertahanan oksidatif (Begum *et al.*, 2020).



Gambar 4. 6 Hasil penapisan isolat fungi berdasarkan aktivitas katalase. A. Terbentuknya gelembung udara menunjukkan aktivitas katalase. B. tidak ada aktivitas katalase

Uji urease dalam penelitian ini dilakukan terutama sebagai bagian dari identifikasi fisiologis khamir. aktivitas urease telah lama digunakan sebagai karakter diferensial penting pada beberapa kelompok khamir tertentu, terutama

dalam membedakan khamir urease-positif dan urease-negatif (Kurtzman et al., 2011). Namun, hasil uji pada isolat kapang tetap dicatat sebagai karakter tambahan. Karena, aktivitas urease tidak digunakan sebagai dasar utama penentuan identitas kapang, melainkan sebagai informasi fisiologis pendukung yang mencerminkan variasi kemampuan metabolisme nitrogen antar isolat. Negatifnya aktivitas urease pada isolat kapang dalam penelitian ini tidak digunakan sebagai dasar penentuan identitas taksonomi, melainkan diinterpretasikan sebagai indikasi keterbatasan kemampuan isolat dalam memanfaatkan urea sebagai sumber nitrogen (Gambar 4.7).



Gambar 4. 7 Hasil Penapisan Isolat berdasarkan Aktivitas Urease. A. Isolat tidak menunjukkan aktivitas urease. B. Isolat menunjukkan aktivitas urease

Uji urease bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikroorganisme dalam menghasilkan enzim urease, yaitu enzim yang mengkatalisis hidrolisis urea menjadi amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Reaksi ini menyebabkan peningkatan pH medium karena amonia bersifat basa. Isolat yang urease-positif akan menunjukkan perubahan warna media dari kuning/oranye menjadi merah muda hingga ungu, menandakan peningkatan pH akibat produksi amonia. Sebaliknya, isolat urease-negatif tidak menunjukkan perubahan warna yang signifikan, karena tidak terjadi hidrolisis urea dan pH media tetap stabil (Pratiwi *et al.*, 2020).

Penapisan isolat ini digunakan sebagai pendekatan awal untuk mengidentifikasi isolat yang secara teoritis memiliki kapasitas mendukung proses pencernaan, tanpa dimaksudkan untuk membuktikan peran fungsional secara langsung di dalam tubuh ikan. Hasil penapisan untuk keseluruhan isolat ditunjukkan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 Hasil Penapisan Isolat berdasarkan Kemampuan Enzimatik

Isolat	Jenis Fungi	Kemampuan Enzimatik			
		Amilase	Protease	Urease	Katalase
YIJS-1	<i>Candida</i> sp.	-	+	-	+
YIJS-2	<i>Rhodotorula</i> sp.	+	+	+	+
MIJS-1	<i>Penicillium</i> sp.	+	+	-	+
MIJS-2	<i>Aspergillus</i> sp.	+	+	+	+
MIJS-3	<i>Robillarda</i> sp.	+	-	+	+
MIJS-4	<i>Chrysosporium</i> sp.	+	+	+	-
MIJS-5	<i>Mycelia sterilia</i>	+	+	-	+
MIJS-6	<i>Mycelia sterilia</i>	+	+	-	+
MIJS-7	<i>Mycelia sterilia</i>	+	+	-	+

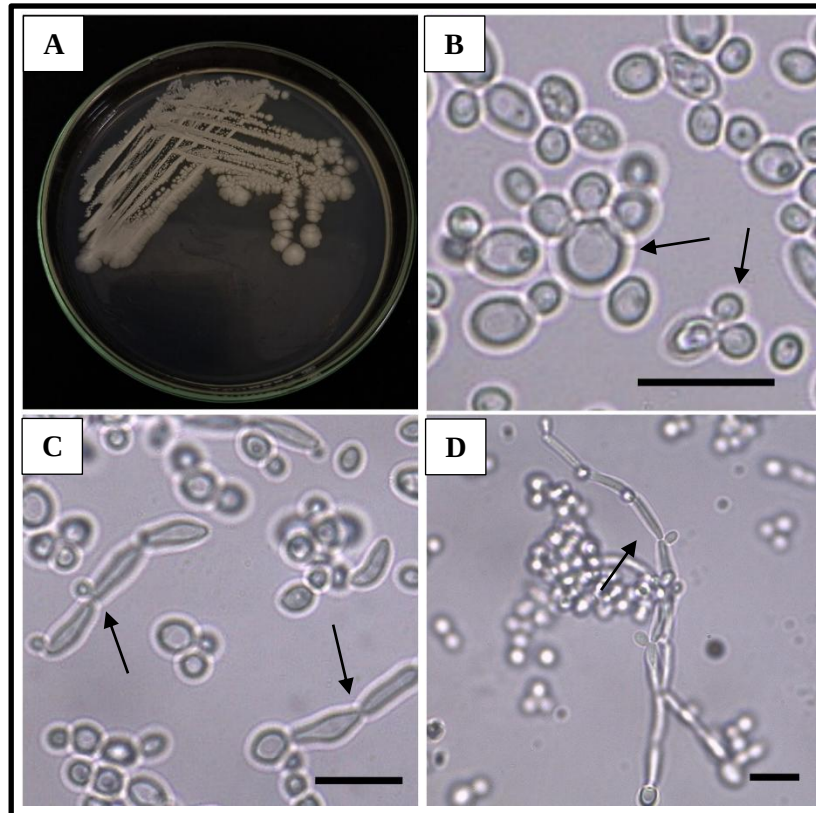
Keterangan: (+) = terdapat indikasi kemampuan enzimatik;
 (-) = tidak terdapat indikasi kemampuan enzimatik.

F. Karakteristik Fungi pada Pencernaan Ikan Mas Sinyonya

Pengamatan karakter morfologi dilakukan pada 9 isolat hasil isolasi dari saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya. Berdasarkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis, isolat tersebut teridentifikasi ke dalam beberapa Genus, yaitu *Penicillium*, *Aspergillus*, *Robillarda*, *Chrysosporium*, serta tiga isolat *Mycelia sterilia*. Selain itu, ditemukan pula dua isolat khamir yang *Candida* sp. dan satu isolat *Rhodotorula* sp.

1. Isolat YIJS-1 dengan Identitas *Candida* sp.

Isolat kamir YIJS-1 yang diperoleh dari hasil isolasi menunjukkan karakter koloni berbentuk *circular* dengan margin tidak rata dan berkerut (*wrinkled*), berwarna putih krem dan tekstur *butyrous/creamy*, serta elevasi koloni yang menonjol (*raised*) dari permukaan medium. Morfologi makroskopis tersebut sering dikaitkan dengan sejumlah khamir subdivisi *Saccharomycotina* yang sering kali memperlihatkan koloni berwarna putih hingga krem dengan tekstur halus, serta bentuk koloni bulat atau *circular*, margin tidak rata (*crenated*) karena pertumbuhan sel yang padat, pola pembelahan dan pertunasan sel (Chavez *et al.*, 2024).



Gambar 4. 8 Morfologi Isolat YIJS-1. A. Koloni khamir pada SDA setelah 5 hari inkubasi. B. Pertunasan dengan tipe multilateral (*Multilateral budding*). C-D. Pseudohifa. Garis Skala 10 μm .

Pengamatan mikroskopis memperlihatkan sel-sel yang tersusun rapat berbentuk bulat hingga oval, memperlihatkan tunas kecil muncul pada satu kutub dan dari kedua ujung sel induk, menempel dan tumbuh dari satu sisi. Pola ini menunjukkan reproduksi aseksual melalui budding dengan lokalisasi multilateral (Fischer *et al.*, 2021). Terdapat deretan sel elipsoid memanjang yang memperlihatkan penyempitan di titik-titik sambungan atau sekat membentuk *pseudohifa* (Hoffman *et al.*, 2023). Berdasarkan kombinasi ciri fenotipik tersebut, menunjukkan bahwa isolat ini termasuk genus *Candida*. Observasi *pseudohifa* dan variasi pola budding secara fenotipik hampir mirip dengan morfologi yang dilaporkan untuk beberapa *Candida* spp. (Chavez *et al.*, 2024).

Pendekatan fisiologis tambahan dilakukan untuk mendapat gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan metabolik isolat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat khamir mampu memfermentasi glukosa, yang ditandai oleh pembentukan gelembung udara, sementara pengujian maltosa dan sukrosa

hanya mengalami perubahan warna medium menjadi kuning tanpa pembentukan gas. Pembentukan gas mengindikasikan bahwa fermentasi glukosa berlangsung secara aktif dan menghasilkan produk samping berupa CO₂, dari hasil metabolisme khamir. Perubahan warna medium menjadi kuning, terjadi karena media mengalami penurunan pH yang disebabkan akumulasi asam organik. Serta endapan pada medium cair menandakan peningkatan biomassa sel akibat pertumbuhan aktif selama pemanfaatan karbohidrat sebagai sumber energi utama. (Kurtzman *et al.*, 2011; Hikmah *et al.*, 2024). Secara fisiologis sejalan dengan karakter fermentasi *Candida* spp. yang dilaporkan dalam sistem fermentasi pangan. Spesies *Candida* telah diidentifikasi sebagai kandidat potensial dalam fermentasi minuman beralkohol, karena kemampuannya memfermentasi gula sederhana. Tidak hanya berkontribusi terhadap pembentukan asam, tetapi juga berperan dalam pembentukan senyawa volatil yang berdampak positif terhadap kompleksitas aroma dan cita rasa produk akhir (Maicas & Mateo, 2023). Meskipun lingkungan saluran pencernaan ikan dan sistem fermentasi industri memiliki kondisi yang berbeda, kesamaan pola metabolik ini memungkinkan *Candida* berperan baik sebagai mikroba komensal di saluran pencernaan maupun sebagai agen fermentatif pada substrat kaya karbohidrat

Hasil uji aktivitas enzim menunjukkan bahwa isolat positif menghasilkan enzim protease, namun tidak menunjukkan aktivitas amilase dan urease. Profil enzimatik tersebut memberikan gambaran awal mengenai karakteristik metabolik isolat dalam memanfaatkan substrat organik, khususnya protein, sebagai sumber nutrisi. Isolat mampu menghidrolisis protein kompleks menjadi peptida dan asam amino, yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan metabolisme sel (Banerjee & Ghosh, 2014). Karakteristik ini selaras dengan profil fisiologis umum genus *Candida*, seperti pada spesies *Candida albicans*, *Candida parapsilosis* dan *Candida tropicalis*, yang diketahui memiliki sistem sekresi protease aspartil (*secreted aspartyl proteases/Saps*) sebagai salah satu ciri dominan. Enzim ini berperan dalam degradasi protein lingkungan, adaptasi nutrisi, serta interaksi dengan jaringan inang (Puspawati *et al.*, 2020; Monika *et al.*, 2017; Hrusková-Heidingsfeldová *et al.*, 2009).

Hasil uji katalase positif juga menjadi salah satu indikator yang mendukung identifikasi isolat sebagai *Candida* sp., sebab genus ini secara umum diketahui memiliki aktivitas enzim katalase yang tinggi. Katalase berfungsi untuk menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen, sehingga berpotensi membantu melindungi sel epitel usus dari stres oksidatif (Miyasaka *et al.*, 2008; Feng *et al.*, 2022). Meskipun, belum ada informasi mengenai penggunaan *Candida* sp. Sebagai suplemen probiotik dalam budidaya ikan, aktivitas antioksidan tersebut memperlihatkan bahwa *Candida* sp. berpotensi sebagai agen probiotik alami dan mikroba penyeimbang yang menjaga integritas mikrobiota usus ikan dari kolonisasi patogen (Gonia *et al.*, 2017).

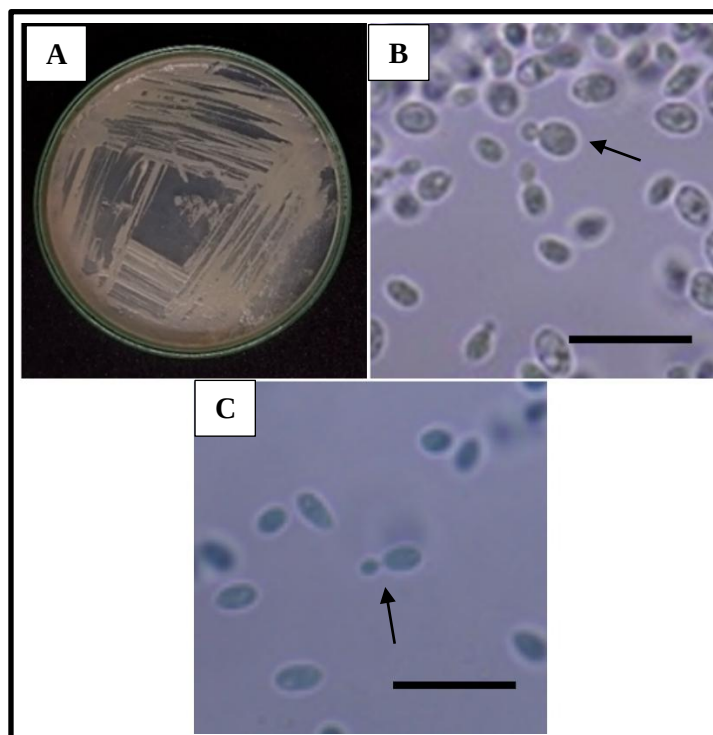
Penelitian Caruffo *et al.*, (2015), menemukan bahwa isolat *Candida* sp. dari usus ikan zebra mampu meningkatkan tingkat kelangsungan hidup ikan dengan cara menstimulasi sistem imun dan menghambat kolonisasi *Vibrio anguillarum* melalui mekanisme kompetisi ruang dan ko-agregasi dinding sel (β -glukan, mannan, dan kitin). Sehingga, mengurangi masuknya patogen ke inang melalui saluran pencernaan. Temuan serupa juga dikonfirmasi oleh Siangpro *et al.*, (2023), yang berhasil mengisolasi *Candida tropicalis* dari pencernaan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan efeknya sebagai antimikroba penghambat bakteri patogen, memperkuat potensi khamir ini sebagai kandidat probiotik fungsional pada ikan air tawar.

Candida sp. pada saluran pencernaan ikan menjadi bagian dari mikrobiota normal ikan air tawar dan berpotensi sebagai agen probiotik potensial yang mendukung kesehatan pencernaan melalui aktivitas metabolik dan enzimatisnya (Zaghrami *et al.*, 2021; Gatesoupe, 2007). Namun demikian, keberadaan *Candida* sp. juga memiliki potensi merugikan, terutama ketika kondisi fisiologis ikan menurun akibat stres atau immunosupresi. Saat keadaan tersebut, *Candida* sp. dapat berubah menjadi patogen oportunistik, menyebabkan infeksi sistemik, gangguan pencernaan, hingga menyebabkan kematian (Tartor *et al.*, 2018; Hoai *et al.*, 2025).

2. Isolat YIJS-2 dengan Identitas *Rhodotorula* sp.

Isolat khamir YIJS-2 yang diperoleh dari saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya memperlihatkan karakteristik makroskopis yang khas. Koloni yang terbentuk pada medium padat tampak membulat (*circular*) dengan elevasi datar

(flat), permukaannya halus serta memiliki pigmentasi oranye kemerahan hingga merah muda, teksturnya tampak kental namun tidak creamy, berbeda dengan koloni YIJS-1 yang berwarna putih dan lebih kental. Morfologi koloni berwarna merah muda mengindikasikan adanya produksi pigmen karotenoid, yang merupakan ciri khas beberapa genus khamir pigmen, terutama *Rhodotorula*. Pigmen karotenoid pada khamir diketahui berperan sebagai senyawa pelindung terhadap stres oksidatif dan radiasi, serta sering dijadikan karakter diagnostik awal dalam identifikasi fenotipik kelompok khamir (Sereti *et al.*, 2024; Kot *et al.*, 2024; Kingkaew *et al.*, 2023).



Gambar 4. 9 Morfologi Isolat YIJS-2. A. Koloni khamir pada PDA setelah 5 hari inkubasi. B-C. Pertunasan sel dengan tipe unipolar D. Pewarnaan sel dengan *lactophenol cotton blue*. Garis Skala 10 μm .

Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa isolat terdiri dari sel berbentuk oval. Mekanisme reproduksi utama yang teramati adalah pertunasan vegetative (*budding*). Tunas sel ditemukan muncul dari satu kutub sel induk (*unipolar*). Seluruh pengamatan menunjukkan ketiadaan *pseudohifa*, hifa sejati, maupun mekanisme pembelahan (*fission*).

Sifat fermentatif yang diuji menggunakan media cair mengandung glukosa, maltosa, dan sukrosa, menunjukkan bahwa tidak adanya pembentukan gas CO₂ mengindikasikan bahwa isolat ini tidak melakukan fermentasi karbohidrat secara *gas-forming*. Perubahan warna media dari merah menjadi kuning menunjukkan terjadinya penurunan pH akibat pembentukan asam, yang mengindikasikan adanya aktivitas metabolik terhadap substrat gula, meskipun tidak melalui jalur fermentasi yang menghasilkan gas. Pola tersebut mirip dengan karakter fisiologis genus *Rhodotorula*, yang secara umum diklasifikasikan sebagai khamir non-fermentatif atau lemah fermentatif. Spesies seperti *Rhodotorula glutinis* dan *Rhodotorula gracilis* dilaporkan mampu mengasimilasi berbagai jenis gula tanpa disertai produksi gas atau etanol, namun menunjukkan perubahan pH akibat pembentukan metabolit asam dan biosintesis karotenoid (Xu *et al.*, 2023; Oktavia & Nawfa, 2015; Kot *et al.*, 2016)

Aktivitas urease terdeteksi positif ditandai dengan perubahan warna medium menjadi ungu. Positivitas urease menjadi salah satu ciri khas yang mendukung kemiripan isolat dengan karakteristik *Rhodotorula* sp., yang diketahui sebagai kelompok khamir urease-positif (Wykrętowicz *et al.*, 2025). *Rhodotorula* diketahui mampu menghasilkan enzim urease yang mengkatalisis hidrolisis urea menjadi amonia dan karbon dioksida, suatu karakter yang membedakannya dari sebagian besar spesies *Candida* yang bersifat urease-negatif. Aktivitas ini mengindikasikan kemampuan khamir untuk memanfaatkan urea sebagai sumber nitrogen alternatif, khususnya pada lingkungan dengan ketersediaan nitrogen terbatas (Kidd *et al.*, 2022; Johnathan *et al.*, 2019)

Berbeda dengan hasil skrining aktivitas enzim amilase dan protease, isolat menunjukkan hasil negatif yang mengindikasikan keterbatasan kemampuan isolat dalam mendegradasi substrat polisakarida seperti pati ataupun protein kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana. Aktivitas enzim-enzim hidrolitik ini tidak bersifat universal di seluruh spesies khamir hanya beberapa isolat memang mampu mengsekresikan enzim-enzim tersebut, namun banyak isolat lainnya menunjukkan aktivitas yang rendah atau tidak terdeteksi dan frekuensinya bervariasi antar spesies (Al Halim *et al.*, 2024).

Aktivitas katalase menunjukkan hasil positif lemah yang terdeteksi pada isolat. Secara fisiologis, *Rhodotorula* spp. merupakan organisme aerob yang memiliki sistem antioksidan utama berupa *superoksida dismutase* (SOD), *katalase* (CAT), *glutation peroksidase* (GPX), dan *Glutathione* (GSH), yang bekerja secara sinergis dalam menetralkan spesies oksigen reaktif (ROS) (Zhang *et al.*, 2025). Meskipun uji katalase dilakukan dengan penambahan H₂O₂ yang bersifat oksidatif, pengujian ini bersifat kualitatif dan merefleksikan aktivitas katalase basal yang telah ada dan diekspresikan oleh sel pada saat pengujian, bukan respons adaptif terhadap stres oksidatif jangka panjang yang biasanya memerlukan perlakuan induksi khusus. Aktivitas katalase pada *Rhodotorula* spp. bersifat inducible, di mana peningkatan signifikan baru terjadi ketika sel mengalami tekanan oksidatif yang lebih intens atau berkepanjangan, seperti perubahan sumber karbon atau paparan oksidan dalam medium kultur (Wykřetowicz *et al.*, 2025; Landolfo *et al.*, 2019).

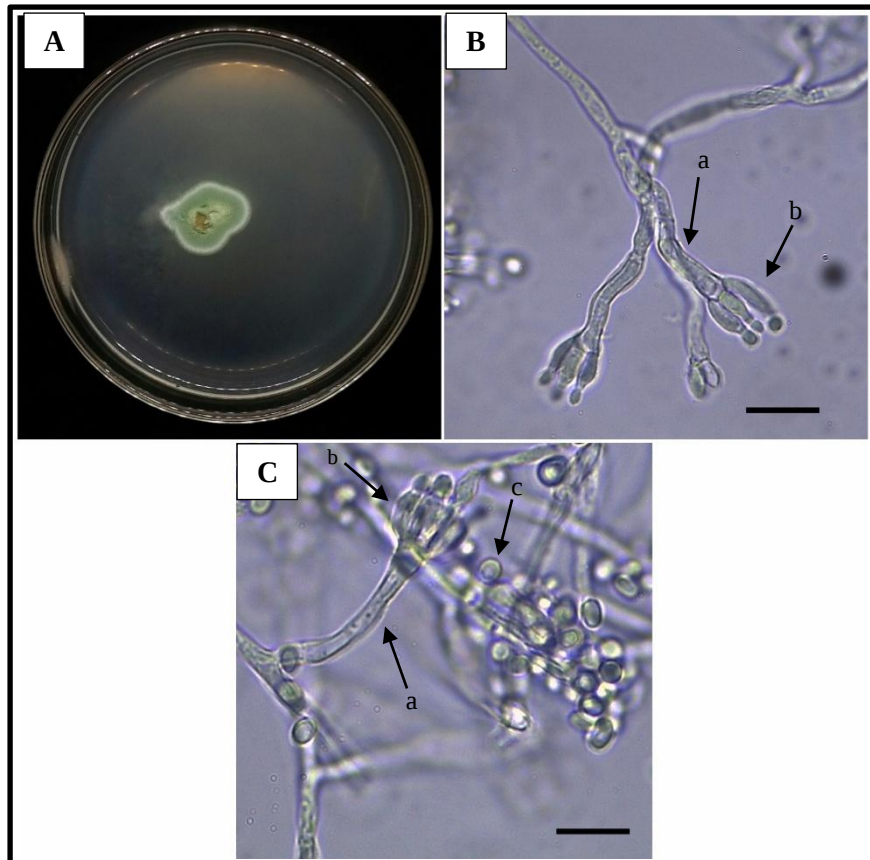
Berdasarkan karakteristik tersebut, isolat ini termasuk genus *Rhodotorula*. Pigmentasi oranye hingga merah muda pada koloni menjadi ciri khas *Rhodotorula* sp. yang diketahui memproduksi pigmen karotenoid seperti β -karoten, torulene, atau torularhodin sebagai metabolit sekunder (Allahkarami *et al.*, 2021). Metabolit yang dihasilkan oleh *Rhodotorula* sp. diketahui dapat memodulasi lingkungan mikroba usus dengan menekan pertumbuhan bakteri patogen seperti *Vibrio* spp. serta meningkatkan imunitas ikan terhadap infeksi (Wang *et al.*, 2023; Caruffo *et al.*, 2015). *Rhodotorula* mampu menghasilkan metabolit yang berperan dalam degradasi toksin bakteri, sehingga berpotensi membantu mengurangi dampak patogen dalam saluran pencernaan (Gatesoupe, 2007). Berbagai senyawa bioaktif dan nutrisi esensial, seperti folat, lipid, protein, serta pigmen karotenoid, yang dihasilkan oleh *Rhodotorula* spp. berkontribusi terhadap keseimbangan nutrisi dan kesehatan inang (Zaghrami *et al.*, 2021).

Berdasarkan berbagai laporan literatur dan hasil penelitian sebelumnya, keberadaan khamir Genus *Rhodotorula* dianggap sebagai khamir normal yang umum ditemukan pada saluran pencernaan ikan air tawar, serta berpotensi sebagai mikroorganisme pendukung dalam meningkatkan ketahanan oksidatif, dan memperkuat sistem imun ikan melalui produksi metabolit fungsional (Ghosh *et al.*,

2023 ; Chen *et al.*, 2019). Pada saluran pencernaan ikan *Abramis brama*, *Rutilus rutilus*, dan *Perca fluviatilis* dikolonisasi secara permanen oleh *Rhodotorula mucilaginosa*, yang menunjukkan kemampuan adaptasi dan kolonisasi jangka panjang dalam sistem pencernaan ikan (Bogusławska-Wąs *et al.*, 2019). *Rhodotorula paludigena* menunjukkan berbagai karakter probiotik, termasuk toleransi terhadap garam empedu, variasi pH, dan suhu, serta aktivitas antioksidan dan imunomodulator (Kaewda *et al.*, 2025).

3. Isolat MIJS-1 dengan Identitas *Penicillium* sp.

Isolat MIJS-1 merupakan jenis fungi berfilamen atau kapang (mold) dengan tepi rata dan tampak berwarna putih, berbeda kontras dengan bagian tengah koloni berwarna hijau-biru keabuan. Warna reverse koloni pucat kekuningan. Isolat ini memiliki elevasi tipe *rugose* (permukaan berkerut), serta struktur tekstur velvety. Morfologi koloni ini mencerminkan karakteristik umum fungi *Penicillium* sp. Pengamatan secara mikroskopis juga mendukung identifikasi awal sebagai *Penicillium*. Isolat ini menunjukkan tipe hifa bersekat, bercabang, dan hialin. Konidiofor terlihat sebagai struktur bercabang menyerupai kuas/sikat (*penicillus*) yang mencerminkan istilah Latin *Penicillium*. Pada struktur ini tampak kumpulan fialid berbentuk flask, dengan konidia berbentuk ellipsoidal pada ujung fialid (Crous *et al.*, 2009).



Gambar 4. 10 Morfologi isolat MIJS-1. A. Koloni kapang pada PDA setelah 7 hari inkubasi. B-C. Struktur konidial (a) Konidiofor. (b) Fialid. (c) Konidia. Garis Skala 10 μm .

Isolat MIJS-1 merupakan jenis kapang (*mold*) memiliki bentuk circular dan simetris dengan tepi rata dan tampak berwarna putih, berbeda kontras dengan bagian tengah koloni berwarna hijau-biru keabuan. Warna reverse koloni pucat kekuningan. Isolat ini memiliki elevasi tipe *rugose* (permukaan berkerut), serta struktur tekstur velvety. Morfologi koloni ini mencerminkan karakteristik umum fungi *Penicillium* sp. Pengamatan secara mikroskopis juga mendukung identifikasi awal sebagai *Penicillium*. Isolat ini menunjukkan tipe hifa bersekat, bercabang, dan hialin. Konidiofor terlihat sebagai struktur bercabang menyerupai kuas/sikat (*penicillus*) yang mencerminkan istilah Latin *Penicillium*. Pada struktur ini tampak kumpulan fialid berbentuk *flask*, dengan rantai konidia basipetal terbentuk di ujung terminal. Konidia berbentuk ellipsoidal, tersusun rapi pada ujung fialid (Crous *et al.*, 2009).

Keberadaan kapang *Penicillium* sp. dalam saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya mengindikasikan perannya sebagai bagian dari mikrobiota saprofitik yang berkontribusi terhadap proses biodegradasi bahan organik kompleks di dalam usus. Hal ini diperkuat oleh hasil uji enzimatik, *Penicillium* sp. menunjukkan aktivitas positif pada enzim amilase dan protease serta reaksi positif katalase. Aktivitas amilase dan protease ini mengindikasikan kemampuannya dalam menghidrolisis pati menjadi gula sederhana dan protein menjadi asam amino, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh inang maupun mikroorganisme lain pada saluran pencernaan. Sehingga meningkatkan efisiensi pencernaan nutrisi, terutama dari sumber pakan berbasis karbohidrat dan protein (Champasri *et al.*, 2021). Aktivitas katalase memperlihatkan kemampuan isolat ini dalam menetralkan senyawa oksidatif seperti hidrogen peroksida, sehingga membantu menjaga kestabilan lingkungan mikroba dan melindungi sel epitel pencernaan dari stres oksidatif (Cretu, 2021).

Peran fungsional *Penicillium* sp. sebagai komponen mikrobiota usus ikan telah banyak dilaporkan. (Doloi & Haloi, 2019), yang melaporkan bahwa *Penicillium* sp. berhasil diisolasi dari saluran pencernaan ikan gabus tutul (*Channa punctata*) dan menunjukkan aktivitas enzim glikosidik tinggi, seperti amilase dan selulase, yang berperan dalam biokonversi karbohidrat kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah diserap. Studi lain oleh Gonçalves & Gallardo-Escárate, (2017) dan Wang *et al.*, (2018), yang menyatakan bahwa fungi saluran pencernaan ikan, termasuk *Penicillium* sp., mampu menghasilkan enzim pencernaan sekaligus metabolit sekunder seperti asam organik, senyawa antioksidan, poliketida, dan terpenoid. Senyawa-senyawa ini berfungsi tidak hanya untuk mendukung proses pencernaan tetapi juga untuk meningkatkan sistem imun dan resistensi terhadap patogen.

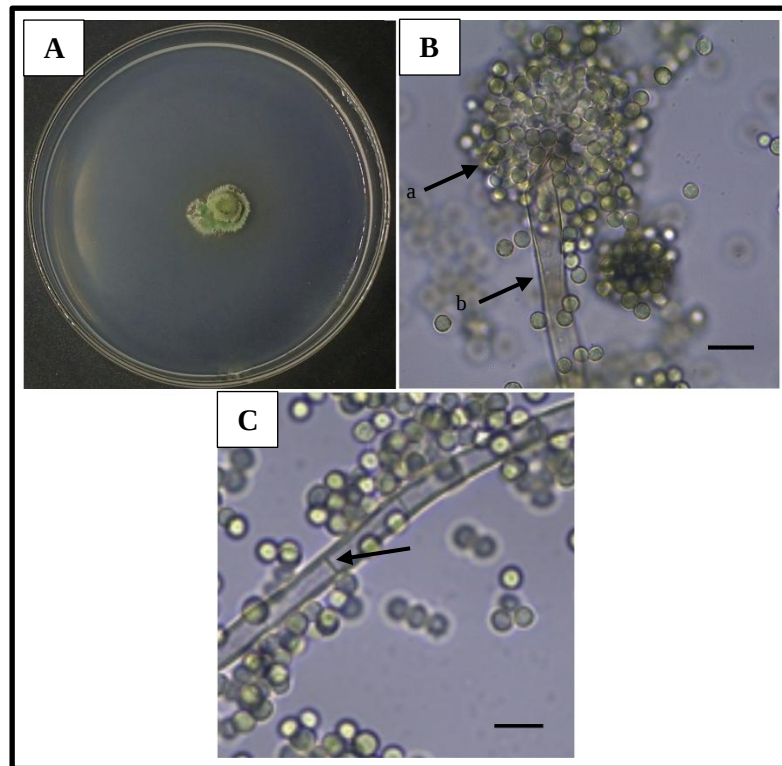
Penicillium sp. juga diketahui memiliki aktivitas antimikroba dan pengendalian lingkungan. Penelitian (Liao *et al.*, 2023) menemukan bahwa *Penicillium* sp. yang diisolasi dari usus ikan karang memiliki aktivitas antibakteri tinggi terhadap mikroorganisme patogen, menunjukkan kemampuannya dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus ikan sehat. Penelitian lain oleh (Marden *et al.*, 2017), juga melaporkan bahwa genus *Penicillium* merupakan anggota umum

dari divisi *Ascomycota* yang ditemukan pada berbagai ikan laut dan air tawar seperti *Lates calcarifer*, *Panaque nigrolineatus*, dan *Trachinotus blochii*, dengan status komensal non-patogenik selama kondisi inang sehat dan tidak mengalami stres nutrisi. Hal tersebut memperkuat bukti bahwa kapang ini merupakan bagian alami dari ekosistem pencernaan ikan. Berdasarkan penelitian oleh (Han *et al.*, 2021), *Penicillium chrysogenum* juga dilaporkan memiliki efek antagonistik terhadap *Microcystis aeruginosa* di lingkungan budidaya dengan menghambat pertumbuhan alga berbahaya dan memperbaiki kualitas air.

Lingkungan perairan diketahui berperan penting dalam membentuk komposisi dan keragaman mikrobiota pencernaan ikan (Kanika *et al.*, 2025). Penggunaan sumber air yang berpotensi tercemar dapat membawa bahan organik terlarut, sisa deterjen, serta limbah domestik, yang menyediakan substrat bagi pertumbuhan mikroorganisme saprofitik (Gu *et al.*, 2021). Penggunaan bahan pakan organik dari limbah pertanian dan hewan juga berpotensi membawa mikroorganisme oportunistik apabila tidak melalui proses pengolahan yang memadai. Kondisi tersebut dapat meningkatkan peluang kolonisasi fungi oportunistik, termasuk *Penicillium* sp., yang berpotensi menjadi merugikan apabila keseimbangan mikrobiota terganggu atau kondisi fisiologis inang menurun (Özcan & Arserim, 2022).

4. Isolat MIJS-2 dengan Identitas *Aspergillus* sp.

Isolat ini memperlihatkan koloni berwarna hijau dengan permukaan beludru dan elevasi *raised*, serta tepi koloni filiform dan tidak rata. Warna hijau pada koloni sesuai dengan akumulasi massa konidia pada kepala konidial. Tepi berwarna putih biasanya merupakan jaringan mycelial (hifa) yang belum tersporulasi secara masif. Pada observasi mikroskopis, ditemukan hifa hialin yang bersekat (septate) dan bercabang. Konidiofor terlihat membesar di bagian terminal membentuk vesikel yang jelas. Vesikel tersebut menjadi tempat menempelnya metulae dan fialid yang memproduksi konidia globose dalam rantai terminal. Karakteristik ini sesuai dengan karakteristik fungi *Aspergillus* sp. (Crous *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2018)



Gambar 4. 11 Morfologi isolat MIJS-2. A. Koloni pada media PDA setelah 7 hari inkubasi. B. Struktur konidial. (a). konidia. (b). Konidiofor. C. Karakteristik hifa bersekat. Garis Skala 10 μm

Isolat *Aspergillus* sp. menunjukkan aktivitas positif amilase, protease, dan katalase yang mengindikasikan perannya dalam proses pencernaan. Kombinasi aktivitas enzimatik ini menunjukkan bahwa *Aspergillus* sp. berperan penting dalam hidrolisis substrat kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana, sehingga dengan mudah diserap oleh tubuh ikan (Manimekalai *et al.*, 2022; El-Gendi *et al.*, 2021). Beberapa spesies *Aspergillus* juga dikenal memiliki kapasitas enzimatik yang sangat luas, termasuk produksi α -amilase, protease, lipase, xilanase, galaktosidase, dextranase, dan pectinase (Gholami-Shabani *et al.*, 2022; Fadel *et al.*, 2020).

Aspergillus spp. merupakan kapang yang paling sering ditemukan pada habitat akuatik, baik air tawar, payau, maupun laut, dan termasuk dalam kelompok Ascomycota yang mendominasi komunitas fungi perairan. spesies *Aspergillus* tersebar luas pada sedimen, kolom air, serta organisme akuatik, termasuk ikan, sebagai fungi saprofitik yang beradaptasi terhadap lingkungan kaya bahan organik (Abdel-Azeem *et al.*, 2019; Shearer *et al.*, 2007). Penelitian berbasis analisis

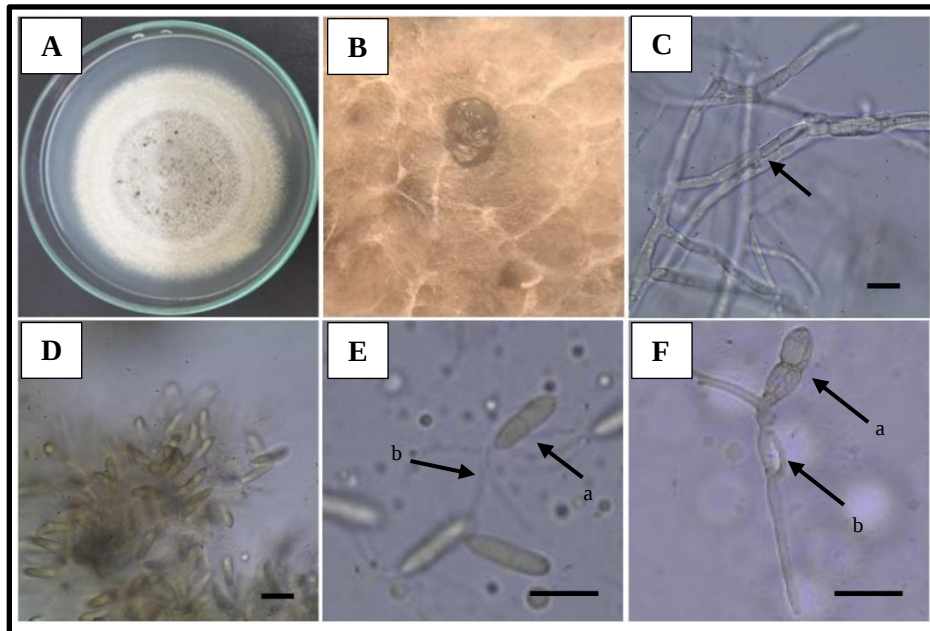
komunitas fungi usus ikan menunjukkan bahwa *Aspergillus* termasuk dalam genus dominan dan memiliki kelimpahan relatif tinggi di saluran pencernaan ikan air tawar, yang mengindikasikan bahwa keberadaannya bukan sekadar kontaminasi lingkungan, melainkan bagian dari mikrobiota usus yang terseleksi secara ekologis (Long *et al.*, 2023). Temuan serupa juga dilaporkan pada tiga jenis ikan karang dan *Aspergillus* secara konsisten teridentifikasi sebagai salah satu genus utama dalam komunitas fungi usus, serta menunjukkan aktivitas antimikroba, bersama dengan *Penicillium* (Liao *et al.*, 2023).

Berbagai temuan penelitian terdahulu yang menegaskan peran genus *Aspergillus* dalam konteks fungi komensal, yaitu *A. oryzae* yang berfungsi sebagai produsen utama enzim hidrolitik dan agen probiotik alami. Suplementasi *A. oryzae* pada pakan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan pakan Ikan Mas mampu meningkatkan aktivitas enzim pencernaan, performa pertumbuhan, respons imun, serta ketahanan terhadap stres salinitas dan hipoksia (Shukry *et al.*, 2021; Dawood *et al.*, 2020; Hedayati *et al.*, 2020). Kombinasi antara *A. oryzae* dan β -glukan yang mampu meningkatkan status antioksidan dan pertahanan imun ikan, memperkuat bukti bahwa kapang ini memiliki peran sinergis terhadap kesehatan pencernaan dan ketahanan tubuh ikan (Dawood, *et al.*, 2020b). *Aspergillus niger*, telah dilaporkan memiliki efek probiotik pada ikan mas, termasuk peningkatan pertumbuhan, respons imun, dan aktivitas enzim pencernaan. Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan *Aspergillus* dalam usus ikan tidak selalu berkaitan dengan patogenisitas, melainkan berpotensi berkontribusi pada keseimbangan mikrobiota usus (Jasim *et al.*, 2022)

Aspergillus merupakan genus fungi yang memiliki peran ganda, bersifat menguntungkan dengan menghasilkan enzim yang membantu pencernaan dan bisa bersifat patogen. Beberapa spesies, seperti *A. flavus*, *A. fumigatus*, dan *A. niger*, diketahui dapat menghasilkan mikotoksin seperti aflatoksin dan ochratoksin yang bersifat hepatotoksik, imunotoksik, dan karsinogenik (Perrone & Gallo, 2017). Mikotoksin ini telah dilaporkan menyebabkan gangguan pertumbuhan, kerusakan hati, serta penurunan imunitas pada ikan air tawar dan ikan budidaya jika konsentrasinya tinggi dalam pakan dan lingkungan pencernaan (Dawood *et al.*, 2019).

5. Isolat MIJS-3 dengan Identitas *Robillarda* sp.

Isolat 3MIJS memperlihatkan morfologi membulat konsentris dengan tepi filiform dan rata, berwarna putih kelabu, tekstur wooly. Pertumbuhan tergolong sedang hingga lambat. Terdapat struktur khas berupa badan reproduktif aseksual berwarna hitam menyerupai batu kecil (*pycnidia*), berfungsi sebagai wadah konidia aseksual. Secara mikroskopis, terlihat adanya hifa bersekat (septat) dan hialin yang berasosiasi dengan pembentukan sel penghasil konidia. Konidia yang terbentuk tampak hialin, berbentuk lonjong (*ellipsoid*), bersekat, serta dilengkapi dengan *apical appendage* (Gambar 4.12). Morfologi tersebut serupa dengan ciri genus *Robillarda* (Crous *et al.*, 2015).



Gambar 4. 12 Morfologi isolat MIJS-3. A. Koloni pada media PDA setelah 7 hari inkubasi. B. Pknidia setelah 21 hari inkubasi. C. Struktur hifa bersekat. D. Kumpulan konidia pada pknidia. E-F. Konidia (a) bersekat (b) *appendage*. Garis Skala 10 μ m

Robillarda adalah genus fungi yang menghasilkan konidia dalam pknidia. Konidianya umumnya bersepta, hialin hingga cokelat muda, berbentuk lonjong-fusiform, dan sering dilengkapi *appendage*/seta pada ujungnya. Ciri ini membuat *Robillarda* dimasukkan ke dalam kelompok pestalotiid, yaitu kelompok fungi dalam famili Sporocadaceae (ordo Amphisphaeriales, Ascomycota) yang memiliki konidia bersepta dengan *appendage* khas (Liu *et al.*, 2019).

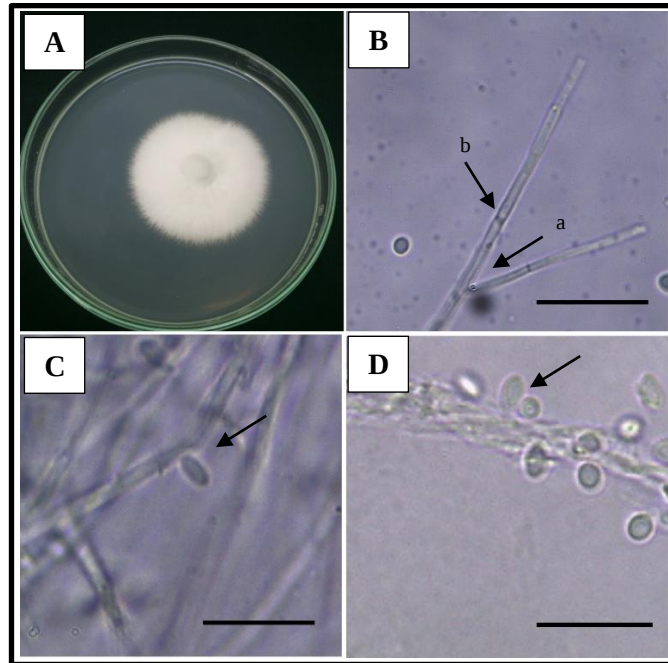
Umumnya *Robillarda* dilaporkan sebagai endofit atau saprofit hingga pathogen pada tumbuhan darat dan akuatik, serta sebagai dekomposer bahan organik pada substrat kayu dan serasah yang terendam air. Hingga saat ini belum terdapat studi literatur yang secara eksplisit mendokumentasikan genus *Robillarda* sebagai komponen tetap mikrobiota usus ikan. Kehadiran *Robillarda* dapat diinterpretasikan sebagai bagian dari mikrobiota transien yang masuk bersama pakan/lingkungan, atau berperan dalam dekomposisi bahan organik dalam saluran cerna. Morfologi konidia yang relatif resisten, fungi ini berpotensi bertahan dalam lingkungan usus yang kaya senyawa organik. (Maharachchikumbura *et al.*, 2016; Phookamsak *et al.*, 2019).

Isolat *Robillarda* menunjukkan aktivitas positif amilase dan katalase, namun negatif terhadap protease dan urease. Pola aktivitas ini mencerminkan kapasitas enzimatis potensial isolat tersebut dalam mendegradasi polisakarida kompleks seperti pati. Studi sebelumnya membahas kemampuan amilolitik *Robillarda* dalam memanfaatkan substrat karbohidrat pada lingkungan kaya bahan organik (Wang *et al.*, 2024; Calabon *et al.*, 2023). Interpretasi tersebut diperkuat oleh karakteristik pakan ikan mas sinyonya yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu pakan organik berbasis limbah pascapanen padi. Limbah panen padi diketahui mengandung karbohidrat kompleks, pati resisten, serta fraksi lignoselulosa yang relatif tinggi, yang berpotensi menjadi substrat pertumbuhan bagi fungi saprofitik dan akuatik yang memiliki kemampuan degradasi polisakarida (Ghosh *et al.*, 2023; Nurasyifa *et al.*, 2025). Masuknya partikel pakan berbasis bahan nabati ke dalam saluran pencernaan ikan memungkinkan terbawanya komunitas fungi lingkungan yang mampu memanfaatkan substrat tersebut, termasuk *Robillarda* sp., sehingga keberadaannya lebih mencerminkan kondisi lingkungan dan komposisi pakan.

6. Isolat MIJS-4 dengan Identitas *Chrysosporium* sp.

Isolat 5MIJS menunjukkan karakteristik morfologi secara makroskopis, koloni tampak berwarna putih, menyerupai kapas tebal (cottony) dengan tekstur mengerut (*wrinkled*) pada bagian tengah dan pertumbuhan koloni menyerupai awan kapas. Secara mikroskopis, isolat menunjukkan adanya hifa hialin, bersekat, dan bercabang. Konidia tampak, berbentuk oval, satu sel, tanpa septa (Gambar 4.13).

Karakteristik tersebut mirip dengan fungi Genus *Chrysosporium*. Genus *Chrysosporium* ditandai dengan produksi konidia berdinding tipis, biasanya berbentuk bulat hingga oval (Wang *et al.*, 2023).



Gambar 4. 13 Morfologi isolat MIJS-4. A. Koloni pada media PDA setelah 7 hari inkubasi. B. Struktur hifa (a). bercabang. (b) bersekat. C-D. Konidia. Garis Skala 10 μm .

Hasil uji enzimatik yang positif terhadap amilase, protease, dan urease, serta negatif terhadap katalase, mengindikasikan bahwa isolat ini memiliki kemampuan dalam hidrolisis karbohidrat dan protein kompleks, namun dengan aktivitas degradasi oksidatif yang rendah. Aktivitas ini menunjukkan bahwa *Chrysosporium* sp. berpotensi berperan dalam pemecahan substrat organik kompleks di saluran pencernaan ikan mas sinyonya, membantu proses pencernaan melalui produksi enzim ekstraseluler yang dapat memecah pati dan protein menjadi molekul yang lebih sederhana dan mudah diserap.

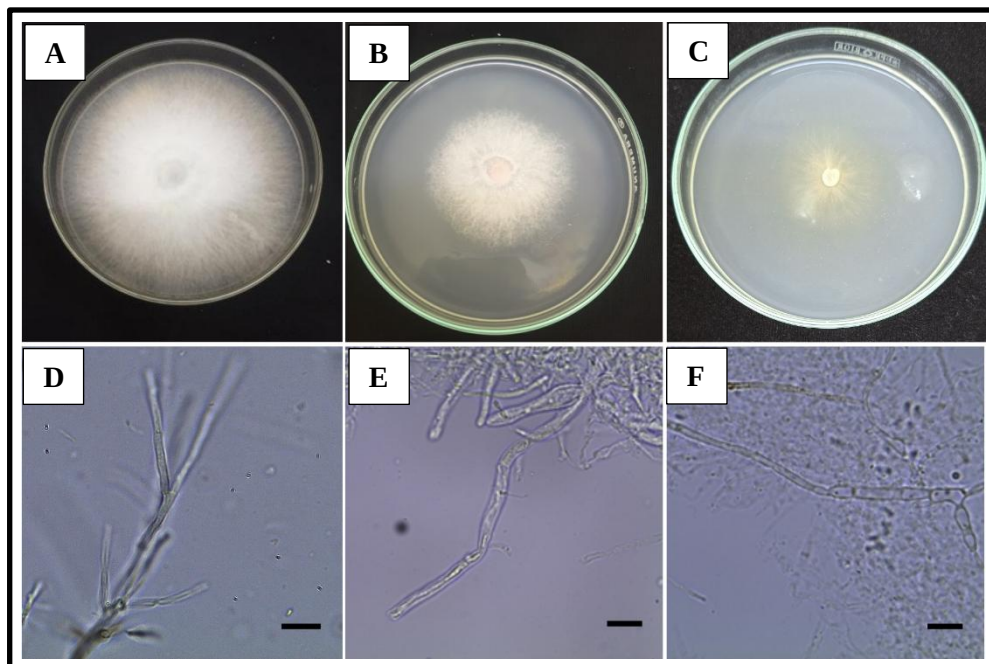
Penelitian oleh Elbanna *et al.*, (2021) berhasil mengisolasi *Chrysosporium* sp. dari saluran pencernaan ikan belanak (*Mugil cephalus*) dan menemukan kemampuannya menghasilkan senyawa metabolit sekunder unik berupa chrysosporazines, kelompok fenilpropanoid piperazin yang menunjukkan aktivitas biologis penting tanpa bersifat sitotoksik. Penelitian oleh Dewa *et al.*, (2022)

memperkuat penelitian tersebut dengan menunjukkan bahwa *Chrysosporium* sp. dari usus ikan mullet mampu memproduksi berbagai turunan chrysosporazines yang berfungsi sebagai inhibitor protein transpor *P-glycoprotein* (P-gp), yang diketahui terlibat dalam mekanisme resistensi terhadap obat. Kemampuan ini dapat diartikan sebagai bentuk kompetisi mikroba di saluran pencernaan, di mana senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan *Chrysosporium* dapat menekan dominasi mikroba patogen atau kompetitor lain, sehingga menjaga keseimbangan mikrobiota usus ikan.

Penelitian Ghotbi *et al.*, (2022) melaporkan bahwa *Chrysosporium* termasuk dalam kelompok fungi yang jarang namun konsisten ditemukan pada mikrobiota saluran pencernaan ikan laut dan payau seperti ikan plaice dan belanak. Fungi ini diketahui berkontribusi pada produksi senyawa bioaktif antimikroba, Meskipun tidak bersifat bakterisidal langsung, senyawa chrysosporazines berperan dalam menghambat mekanisme pertahanan patogen seperti *Lactococcus garvieae*, *Vibrio* sp., *Aeromonas* sp. dan *Staphylococcus aureus*. Hal ini diperkuat oleh Wang *et al.*, (2023), yang menyatakan bahwa *Chrysosporium* merupakan penghasil alami berbagai senyawa bioaktif seperti alkaloid, polyketida, dan laktone, di antaranya chryscandin dan chrysosporazines, yang memiliki aktivitas antimikroba dan antitumor. Chrysosporazines termasuk dalam kelompok metabolit sekunder polyketide alkaloid hibrid, hasil dari aktivitas enzim kompleks PKS-NRPS (*Polyketide Synthase Nonribosomal Peptide Synthetase*). Biosintesisnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti ketersediaan prekursor fenilalanin dan asam sinamat dalam substrat organik pencernaan ikan. Karena itu, *Chrysosporium* sp. yang hidup di saluran pencernaan ikan air tawar dapat memanfaatkan senyawa organik hasil degradasi pakan untuk membentuk metabolit ini. Kombinasi kemampuan enzimatik dan biosintetik ini mendukung pandangan bahwa *Chrysosporium* sp. bukan sekadar kontaminan lingkungan, tetapi merupakan mikroorganisme fungsional yang berperan dalam biokonversi nutrisi, stabilitas mikroba usus, dan daya tahan inang terhadap patogen pada ekosistem pencernaan ikan air tawar seperti ikan mas sinyonya.

7. Isolat MIJS-5, MIJS-6 dan MIJS-7 dengan Identitas Kelompok *Mycelia sterilia*

Isolat MIJS-5, MIJS-6, dan MIJS-7 dalam penelitian ini dikelompokkan ke dalam kelompok *mycelia sterilia* berdasarkan karakter morfologi makroskopis dan mikroskopis yang hanya menunjukkan fase vegetatif berupa miselium tanpa pembentukan struktur reproduktif, baik aseksual maupun seksual (Asman *et al.*, 2018; Hidayat, 2022). Secara makroskopis, ketiga isolat memperlihatkan koloni berwarna putih hingga putih krem dengan tekstur wooly dan tepi koloni relatif *irregular*, secara mikroskopis tampak hifa hialin, bersekat, dan bercabang tanpa diferensiasi konidiofor/sporangiofor, konidia/spora (Gambar 4. 14). Sehingga identifikasinya tidak dapat ditentukan lebih lanjut berdasarkan pendekatan morfologi.



Gambar 4. 14 Morfologi isolat *Mycelia sterilia*. A. Koloni MIJS-5. B. Koloni MIJS-6. C. Koloni MIJS-7. D. Struktur hifa MIJS-5. E. Struktur hifa MIJS-6. F. Struktur hifa MIJS-7. Garis Skala 10 μm .

Hasil penapisan isolat menunjukkan bahwa ketiga isolat *mycelia sterilia* memiliki aktivitas amilase, protease, dan katalase, namun negatif terhadap urease. Profil enzimatik ini mengindikasikan potensi fungsional fungi dalam mendegradasi polisakarida dan protein menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti glukosa, peptida, dan asam amino. Aktivitas katalase positif pada ketiga

isolat juga mengindikasikan kemampuan fungi dalam menetralkan senyawa oksidatif seperti hidrogen peroksida (H_2O_2), yang secara alami dapat terbentuk akibat aktivitas metabolisme mikroba.

G. Implikasi Sains Terhadap Pendidikan

Hasil penelitian diversitas fungi pada pencernaan Ikan Mas Sinyonya diimplementasikan dalam pendidikan berupa hasil analisis konten pembelajaran pada sub konsep kingdom fungi yang ada pada materi keanekaragaman hayati, sesuai dengan tuntutan capaian pembelajaran kurikulum merdeka fase E. Konten pembelajaran tersebut akan dikemas dalam media pembelajaran sesuai dari hasil analisis kebutuhan guru dan siswa. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan konten pembelajaran melalui serangkaian tahapan sistematis, dimulai dengan identifikasi capaian pembelajaran (CP), analisis komprehensif materi, dan evaluasi kebutuhan guru dan siswa mengenai konten pembelajaran. Proses pengembangan tersebut merujuk pada kerangka kurikulum merdeka, sebuah inovasi kebijakan pendidikan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang merupakan penyederhanaan substansial dari kurikulum 2013 (Hasim, 2020).

Kurikulum Merdeka dibangun atas filosofi pendidikan yang progresif, yang secara fundamental menekankan empat prinsip utama: kemandirian belajar, kebebasan berpikir kritis, ruang untuk berinovasi, dan ekspresi kreativitas peserta didik. Pendekatan ini tidak sekedar mentransformasi struktur kurikulum, melainkan menghadirkan paradigma baru dalam praktik pembelajaran yang memberdayakan potensi siswa secara holistik (Rohmatika, 2023). Karakteristik utama dalam kurikulum merdeka berupa pembelajaran berbasis proyek yang dirancang untuk mengembangkan *soft skills* dan karakter peserta didik serta memfokuskan pada tujuh tema utama, salah satunya integrasi kearifan lokal dalam pembelajaran (Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 262/M/2022 tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam Rangka Pemulihan Pembelajaran, 2022).

Melalui beberapa tahapan analisis tersebut, penelitian ini ditujukan untuk dapat mengimplementasikan temuan ilmiah ke dalam konten pembelajaran yang

responsif, kontekstual, dan selaras dengan semangat Kurikulum Merdeka, yakni mengembangkan pembelajaran yang bermakna, mendalam, dan memberdayakan.

1. Analisis Kurikulum

Penelitian yang telah dilakukan terkait keanekaragaman fungsi di pencernaan Ikan Mas Sinyonya dapat diintegrasikan ke dalam Capaian pembelajaran (CP) Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini mengacu pada Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada berbagai jenjang pendidikan dalam Kurikulum Merdeka. Pada konteks mata pelajaran biologi SMA, CP Kurikulum Merdeka terbagi menjadi fase E untuk kelas X dan fase F untuk kelas XI dan XII. Hasil penelitian diversitas fungsi pada pencernaan Ikan Mas Sinyonya dapat diimplementasikan pada Sub Konsep Kingdom Fungi. Hasil analisis kurikulum melalui penelaahan Capaian Pembelajaran (CP) dan pengembangan Tujuan Pembelajaran (TP) menunjukkan bahwa materi mengenai Kingdom Fungi tidak lagi menjadi kompetensi capaian pembelajaran terpisah. Pada kurikulum Merdeka, topik tersebut diintegrasikan ke dalam materi keanekaragaman hayati CP fase E kelas X (Lampiran 1).

Untuk fase F kelas XI, hasil penelitian dapat diaplikasikan dalam pembahasan materi sistem pencernaan dan peran mikroorganisme. Mengingat fokus penelitian pada keberagaman fungsi dalam sistem pencernaan ikan, materi ini sangat sesuai untuk menjelaskan aspek keanekaragaman hayati fungsi dan peranannya dalam sistem biologis. Sehingga, analisis materi lebih ditekankan pada pembahasan keanekaragaman fungsi dan perannya dalam sistem pencernaan, yang disesuaikan dengan hasil penelitian mengenai diversitas fungsi pada pencernaan ikan mas sinyonya.

2. Analisis Materi

Hasil penelitian ini menyajikan data mengenai diversitas fungsi pada pencernaan Ikan Mas Sinyonya yang meliputi identifikasi jenis-jenis fungsi, karakteristik morfologi, dan peran fungsi dalam sistem pencernaan ikan. Data-data tersebut kemudian dianalisis dengan menyesuaikan Capaian Pembelajaran pada fase E, khususnya pada materi keanekaragaman hayati sub konsep fungsi. Hasil

analisis dapat dijadikan sebagai bahan materi yang sesuai dengan Capaian Pembelajaran fase E.

Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai informasi tambahan serta pelengkap materi pembelajaran yang bersifat kontekstual dan berbasis potensi lokal. Berdasarkan segi kontekstual, materi ini memiliki relevansi dengan kehidupan sehari-hari karena mengangkat potensi lokal yaitu Ikan Mas Sinyonya sebagai hewan endemik khas Pandeglang, Banten. Hal ini sejalan dengan prinsip pembelajaran kontekstual yang menghubungkan materi pembelajaran dengan situasi dunia nyata siswa. Pembelajaran yang prosesnya memanfaatkan potensi lokal dan bersifat kontekstual mengubah pembelajaran dari sekadar menghafal menjadi pengalaman langsung yang bermakna, sehingga meningkatkan motivasi, keterlibatan aktif, dan pemahaman konsep oleh siswa (Firda *et al.*, 2023). Pada aspek konseptual, penelitian ini mencakup konsep dasar fungi meliputi karakteristik morfologi, klasifikasi, dan peran fungi dalam sistem biologis. Materi ini sesuai dengan tuntutan Capaian Pembelajaran fase E yang menekankan pemahaman siswa tentang keanekaragaman hayati mikroorganisme. Kompleksitas materi dapat disesuaikan dengan tingkat kognitif siswa SMA, dimulai dari pengenalan berbagai jenis fungi, pemahaman karakteristik morfologinya, hingga analisis peran fungi dalam sistem pencernaan ikan.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh 9 isolat fungi dari pencernaan ikan mas sinyonya, yang terdiri atas 2 jenis isolat khamir dan 7 isolat kapang. Setiap isolat dianalisis berdasarkan ciri makroskopis dan mikroskopis, serta aktivitas fisiologis dan enzimatisnya meliputi amilase, protease, katalase dan urease. Data yang diperoleh kemudian disesuaikan dengan capaian pembelajaran (CP) fase E pada mata pelajaran biologi, khususnya elemen pemahaman biologi yang menekankan pada kemampuan peserta didik untuk mengamati, menganalisis, dan mengkomunikasikan hasil penelitian terkait keanekaragaman makhluk hidup dan peranannya.

Tabel 4. 3 Analisis Materi Berdasarkan Potensi Hasil Penelitian yang Dapat Dijadikan Konten Pembelajaran Biologi (CP Fase E)

Capaian Pembelajaran (CP)			
Pada akhir fase E, peserta didik memiliki kemampuan menciptakan solusi atas permasalahan-permasalahan berdasarkan isu lokal, nasional atau global terkait pemahaman keanekaragaman makhluk hidup dan peranannya, virus dan peranannya, inovasi teknologi biologi, komponen ekosistem dan interaksi antar komponen serta perubahan lingkungan			
Tujuan Pembelajaran	Hasil Penelitian	Materi Pembelajaran yang sesuai	Hasil Analisis Penyesuaian Materi terhadap Hasil Penelitian
Peserta didik dapat menjelaskan konsep fungi sebagai bagian dari keanekaragaman hayati dengan tepat sesuai konsep materi	Penelitian menemukan 9 isolat fungi, terdiri dari 2 khamir dan 8 kapang dari saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya, hewan endemik Pandeglang, Banten	Konsep dan keanekaragaman fungi di tingkat jenis	Pada materi ini, peserta didik dapat mempelajari konsep fungi yang merupakan bagian dari keanekaragaman hayati yang tersebar luas di berbagai habitat, termasuk pencernaan hewan air tawar
Peserta didik dapat mengidentifikasi struktur dan reproduksi fungi berdasarkan ciri makroskopis dan mikroskopis	Berdasarkan pengamatan morfologi fungi secara makroskopis dan mikroskopis pada setiap isolat	Struktur morfologi dan reproduksi fungi	Peserta didik dapat mengamati gambar atau preparat fungi hasil penelitian untuk mengidentifikasi struktur dan reproduksi ciri khas khamir dan kapang
Peserta didik dapat menganalisis aktivitas enzimatik fungi dan uji fisiologis khamir untuk menentukan potensi fungsionalnya	Hasil penapisan isolat menunjukkan aktivitas protease, amilase, katalase, dan urease. Uji fermentasi khamir menunjukkan kemampuan fermentasi glukosa, maltosa, dan sukrosa.	Metabolisme fungi (enzim dan proses fermentasi karbohidrat)	Peserta didik dapat menelaah hasil uji enzimatik dan fermentasi karbohidrat untuk memahami potensi fungi
Peserta didik dapat mengevaluasi	Fungi yang ditemukan berpotensi	Diversitas fungi dan perannya	Pada bagian ini, peserta didik dapat

peranan khamir dan kapang dalam kehidupan serta keseimbangan ekosistem	berperan sebagai pengurai bahkan dalam membantu proses pencernaan ikan		mengevaluasi diversitas fungi yang didapat dengan perannya
Peserta didik dapat merancang ide pemanfaatan fungi lokal hasil penelitian sebagai solusi bioteknologi berkelanjutan dalam bentuk laporan pembelajaran kontekstual	Beberapa isolat fungi memiliki potensi bioteknologi, misalnya penghasil enzim dan fermentasi, probiotik alami atau agen bioteknologi ramah lingkungan sebagai pendegradasi bahan organik	Upaya pelestarian dan pemanfaatan biodiversitas lokal secara berkelanjutan	Pada bagian ini, peserta didik membuat laporan tertulis sederhana dengan merancang ide pemanfaatan fungi sebagai solusi bioteknologi ramah lingkungan untuk pelestarian komoditas lokal

Secara struktur, isolat khamir yang diperoleh menunjukkan ciri berupa sel uniseluler dengan dinding sel, membran sel, sitoplasma, nukleus, dan reproduksi dengan cara bertunas (*budding*) (Kurtzman *et al.*, 2011). Sebaliknya, isolat kapang memperlihatkan struktur multiseluler dengan adanya konidia/spora, hifa dengan perbedaan antara kapang yang memiliki hifa bersepta dan tidak bersepta (Marchiori, 2024). Perbedaan struktur inilah yang dapat dijadikan dasar bagi siswa untuk mengklasifikasikan fungi ke dalam kelompok khamir dan kapang, sesuai dengan tujuan pembelajaran yang telah dirancang.

Berdasarkan hasil uji aktivitas enzimatik memperlihatkan bahwa beberapa isolat memiliki kemampuan memproduksi enzim amilase, protease, dan katalase. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungi berpotensi dalam peran aktif dalam proses biokimia yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Pembelajaran berbasis hasil penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan literasi sains peserta didik, menumbuhkan sikap ilmiah, serta menguatkan profil pelajar pancasila melalui kegiatan observasi, analisis, diskusi, dan refleksi (Fadlullah *et al.*, 2025). Selain itu, penyajian hasil penelitian sebagai konten pembelajaran juga menekankan pentingnya pemanfaatan potensi lokal yaitu Ikan Mas Sinyonya. Sehingga, pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna, sesuai dengan prinsip Kurikulum Merdeka (Puspaningrum, 2025; Carolina *et al.*, 2024).

3. Analisis Kebutuhan Konten Pembelajaran

Analisis kebutuhan telah dilakukan pada 3 guru mata pelajaran biologi dan siswa di SMAN 1 Pandeglang, SMAN 2 Pandeglang, SMAN 3 Kota Serang (**Lampiran 6**). Hasil analisis kebutuhan terhadap tiga guru mata pelajaran Biologi menunjukkan bahwa seluruh responden belum memiliki pengetahuan mengenai keberadaan Ikan Mas Sinyonya sebagai salah satu ras ikan lokal khas Banten, serta belum pernah mengangkat isu keberadaan dan peran fungi pada sistem pencernaan ikan dalam pembelajaran. Temuan ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara potensi sumber belajar berbasis keanekaragaman hayati lokal dengan konten pembelajaran yang selama ini digunakan di sekolah. Padahal, pemanfaatan objek lokal dalam pembelajaran biologi dapat meningkatkan relevansi materi dan membantu siswa mengaitkan konsep abstrak dengan fenomena nyata di lingkungan sekitarnya (Rahardini *et al.*, 2017; Shufa, 2018).

Ketiga guru berpendapat bahwa hasil penelitian ini berpotensi dikembangkan sebagai inovasi dan alternatif konten bahan ajar biologi. Guru merekomendasikan pengemasan konten dalam bentuk pembelajaran berbasis praktikum yang dilengkapi lembar kegiatan siswa, karena memungkinkan siswa mengamati langsung variasi dan struktur fungi serta terlibat aktif dalam proses pembelajaran. Pendekatan ini dinilai sejalan dengan karakteristik pembelajaran biologi yang menekankan keterampilan proses sains dan pengalaman belajar autentik, serta efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan literasi sains siswa (Lase *et al.*, 2016; Wilujeng *et al.*, 2019; Hasan *et al.*, 2017).

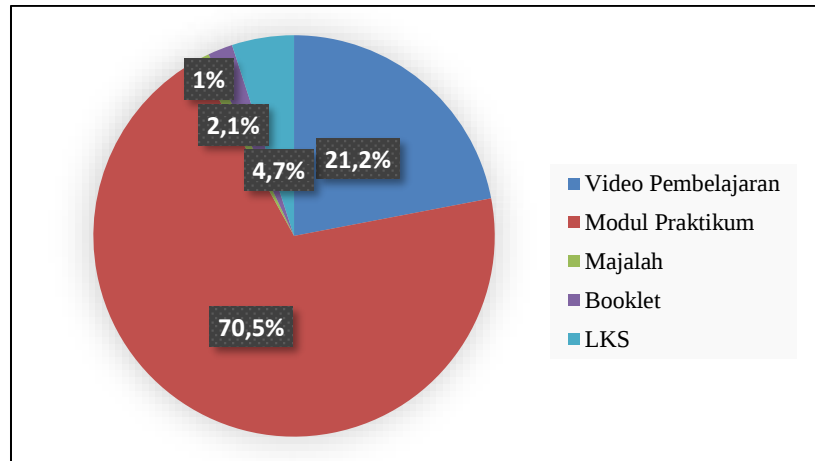
Berdasarkan hasil analisis kebutuhan peserta didik terhadap konten pembelajaran sub konsep kingdom fungi (**Lampiran 7**), sebanyak 42% siswa menyatakan tidak dapat memahami konsep fungi dengan baik, terutama terkait aspek mikroskopis fungi yang sulit diamati tanpa bantuan media yang mendukung. Kesulitan siswa dalam memahami materi kingdom fungi disebabkan karena materi yang bersifat abstrak (Yarza *et al.*, 2021). Keterbatasan pengalaman langsung dalam mengamati struktur morfologi fungi, minimnya sumber dan media pembelajaran yang memadai, serta kurangnya konteks aplikatif yang menghubungkan fungi dengan kehidupan sehari-hari. Pembelajaran yang hanya mengandalkan metode ceramah dan buku teks dinilai belum efektif dalam

membangun pemahaman konseptual siswa terhadap materi yang bersifat klasifikatif dan abstrak, sehingga diperlukan pengembangan media pembelajaran interaktif yang dapat memvisualkan konsep abstrak menjadi lebih konkret (Hidayah *et al.*, 2023).

Sebanyak 99,5% siswa memiliki akses perangkat digital (HP, laptop, dll.), sementara hanya 0,5% yang tidak. Tingkat aksesibilitas yang sangat tinggi ini menciptakan peluang besar untuk mengintegrasikan teknologi digital dalam pembelajaran biologi. Fakta ini sangat mendukung integrasi konten digital dalam pembelajaran biologi, termasuk pengembangan media berbasis digital. Aksesibilitas yang tinggi ini menjadi peluang besar untuk meningkatkan literasi digital siswa sekaligus memperkaya metode pembelajaran.

Mayoritas sebanyak 76,7% siswa belum mengenal Ikan Mas Sinyonya, bahkan 79,8% tidak mengetahui bahwa ikan ini merupakan spesies lokal khas Pandeglang. Temuan tersebut menunjukkan rendahnya pengetahuan siswa tentang biodiversitas lokal. Mengindikasikan perlunya penguatan konten pembelajaran kontekstual berbasis potensi hayati lokal dalam pembelajaran biologi, untuk menumbuhkan rasa kepedulian terhadap konservasi dan potensi sumber daya daerah.

Hasil analisis menunjukkan bahwa 70,5% siswa memilih e-modul praktikum, diikuti 21,2% siswa memilih video pembelajaran, 4,7% memilih LKS, 2,1% memilih booklet dan 1% memilih majalah. Pemilihan e-modul praktikum sebagai sumber belajar memperlihatkan adanya kebutuhan akan media digital interaktif yang tidak hanya menyajikan teori, tetapi juga memandu kegiatan eksperimen sederhana yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Sehingga, hasil penelitian tentang diversitas fungi pada pencernaan Ikan Mas Sinyonya berpotensi besar untuk dikembangkan menjadi e-modul praktikum yang sesuai dengan kebutuhan siswa.

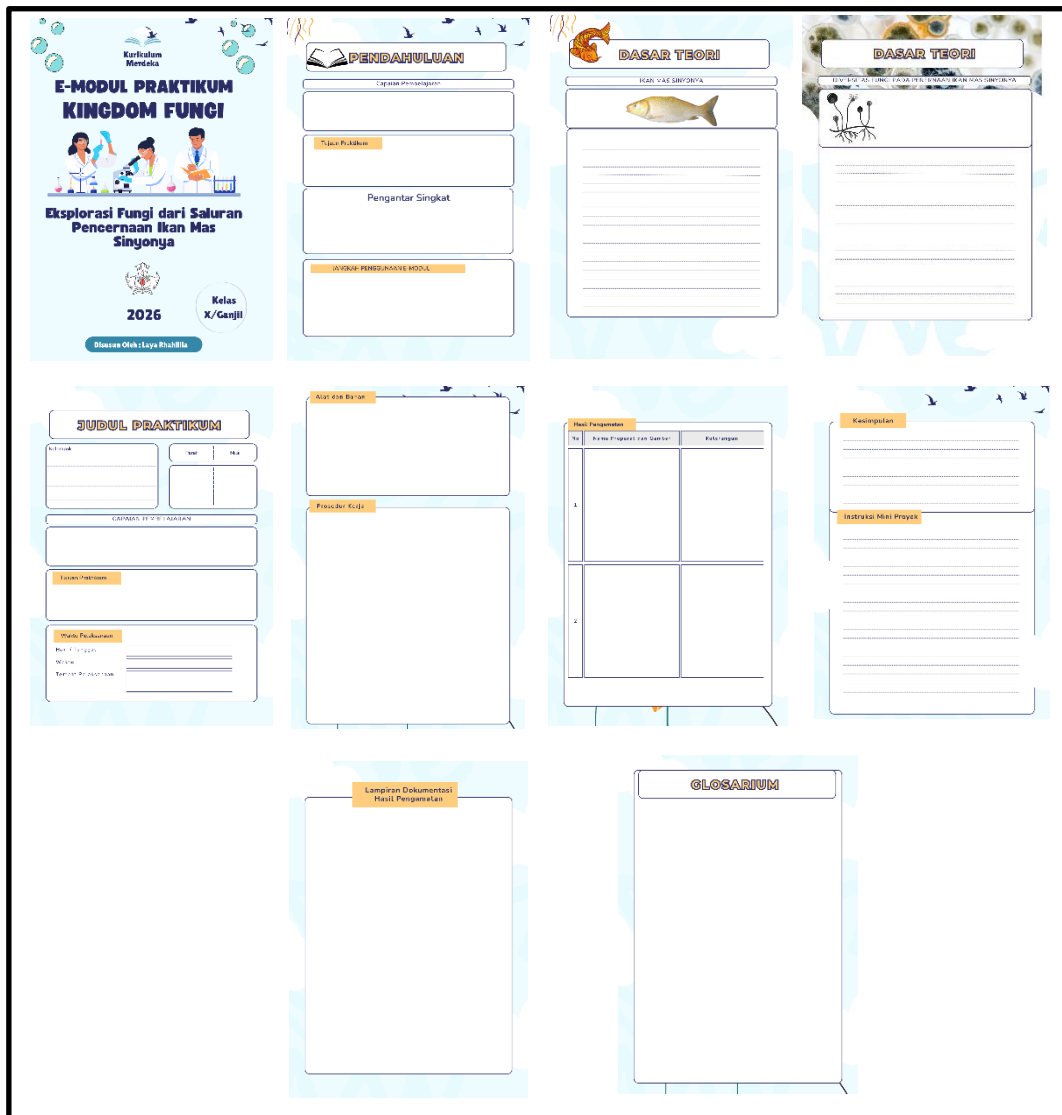


Gambar 4. 15 Preferensi siswa terhadap bentuk pengemasan konten pembelajaran fungsi

Melalui kegiatan praktikum yang melibatkan pengamatan langsung dan analisis hasil, peserta didik didorong untuk membangun pemahaman konsep secara mandiri berdasarkan pengalaman belajar yang diperoleh. Sehingga, pembelajaran tidak hanya bersifat hafalan konsep, tetapi menekankan pada proses dan keterampilan ilmiah. Pada proses pembelajaran di kelas, modul praktikum yang direkomendasikan ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar kontekstual yang mendukung proses pembelajaran siswa. Materi dalam modul memuat pengenalan fungi yang ditemukan pada saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya, disertai deskripsi karakter morfologi makroskopis dan mikroskopis sebagai dasar pengenalan dan identifikasi awal fungi. Kegiatan praktikum diarahkan pada pengamatan struktur dan pengelompokan fungi berdasarkan ciri morfologi tanpa menekankan identifikasi taksonomi hingga tingkat spesies. Modul juga menyajikan pembahasan mengenai potensi peranan fungi dalam sistem pencernaan ikan yang dikaji secara konseptual berdasarkan hasil penelitian dan literatur, serta keterkaitannya dengan aspek ekologi dan pengantar aplikasi bioteknologi secara sederhana.

Pembuatan *storyboard* diawali dengan melakukan penelitian kebutuhan peserta didik. Berdasarkan hasil penelitian kebutuhan tersebut, peserta didik lebih memahami dan menikmati belajar Biologi ketika melibatkan proses pembelajaran interaktif. Maka diperlukan suatu media pembelajaran yakni modul praktikum. Modul dikembangkan terdiri atas bagian awal, bagian inti yang memuat kegiatan

praktikum dan lembar kerja siswa, serta bagian penutup yang mencakup evaluasi dan refleksi pembelajaran yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 *Storyboard* e-modul praktikum pembelajaran fungi

a. Bagian Awal

Bagian awal modul praktikum ini diawali dengan pengenalan terhadap topik eksplorasi fungi, khususnya fungi yang ditemukan pada saluran pencernaan Ikan Mas Sinyonya. Pada bagian ini, siswa diperkenalkan pada konteks biologis dan relevansi materi melalui uraian mengenai peran fungi sebagai organisme penting dalam ekosistem, baik sebagai dekomposer, simbiosis, maupun agen bioteknologi. Modul memuat deskripsi singkat mengenai tujuan pembelajaran, kompetensi yang diharapkan, serta gambaran

umum alur kegiatan praktikum. Ilustrasi dan visual pendukung seperti gambar ikan, koloni fungi, serta ikon-ikon morfologi disertakan untuk menarik perhatian siswa dan membangun pemahaman awal. Selain itu, terdapat instruksi singkat yang mengarahkan siswa untuk menyiapkan alat tulis, lembar kerja siswa (LKS), dan perlengkapan laboratorium sebelum memasuki kegiatan inti.

b. Bagian Inti

Bagian inti modul memuat seluruh rangkaian kegiatan praktikum yang dilakukan di laboratorium. Kegiatan diawali dengan pengamatan makroskopis terhadap isolat fungi hasil penelitian, siswa diarahkan untuk mengamati dan mencatat ciri visual seperti warna koloni, tekstur, dan tepi pertumbuhan. Setelah itu, siswa melanjutkan pada pengamatan mikroskopis menggunakan mikroskop cahaya untuk mengidentifikasi struktur hifa baik yang bersekat maupun tidak bersekat, percabangan hifa, bentuk spora/konidia pada kapang, serta bentuk sel khamir. Kegiatan pengamatan langsung dilakukan untuk membangun keterampilan observasi ilmiah, meningkatkan literasi visual dan kemampuan deskriptif siswa dalam mengomunikasikan data biologis secara sistematis, serta mengembangkan kemampuan analisis visual, dan keterampilan penggunaan alat laboratorium (Riski *et al.*, 2025; Juraidah *et al.*, 2023)).

Kegiatan berikutnya yaitu serangkaian uji enzimatik yang meliputi uji protease, amilase, katalase, dan urease. Siswa diminta menganalisis perubahan visual tertentu, misalnya terbentuk zona bening sebagai indikator kemampuan fungi dalam mendegradasi pati dan protein. Pada uji katalase, munculnya gelembung gas setelah penambahan larutan hidrogen peroksida diamati sebagai tanda aktivitas enzim katalase, sedangkan pada uji urease peserta didik mengamati perubahan warna media sebagai indikator hidrolisis urea. Sehingga, siswa tidak hanya memahami konsep kerja enzim, tetapi juga mengenal peran fungi sebagai penghasil enzim yang berpotensi dimanfaatkan dalam bidang bioteknologi dan pengolahan lingkungan. Kegiatan tersebut juga dilakukan untuk memperkuat pemahaman konsep respirasi dan fermentasi sekaligus

menunjukkan aplikasi nyata khamir dalam bidang pangan dan bioteknologi (Riyaldi *et al.*, 2021).

Setiap kegiatan dilengkapi tabel pengamatan dan pertanyaan analitis pada lembar kerja siswa untuk mendorong kemampuan berpikir kritis. Pada bagian akhir dari kegiatan inti, Pada bagian akhir kegiatan inti, peserta didik diarahkan untuk melakukan refleksi dan menyimpulkan hasil praktikum secara tertulis sebagai bentuk integrasi antara pengamatan, analisis, dan pemahaman konseptual. Tahap refleksi ini penting dalam pembelajaran berbasis praktikum karena membantu peserta didik mengonstruksi pengetahuan secara bermakna dan mengembangkan kemampuan penalaran ilmiah (Prabowo *et al.*, 2016; Puspita, 2019).

c. Bagian Penutup

Bagian penutup modul berisi instruksi pembuatan proyek mini berupa laporan tertulis sederhana dengan merancang ide pemanfaatan fungi sebagai solusi ramah lingkungan serta penekanan pada pentingnya peran fungi dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Selain itu, terdapat kolom refleksi untuk mendorong siswa menilai pengalaman belajar mereka, termasuk tantangan, temuan menarik, dan potensi aplikasi pengetahuan di dunia nyata. Modul ditutup dengan pesan edukatif mengenai pentingnya pelestarian keanekaragaman hayati serta dorongan agar siswa terus mengembangkan rasa ingin tahu ilmiah dalam mempelajari organisme mikro seperti fungi. Pada halaman terakhir terdapat glosarium berisi kumpulan daftar kata atau istilah yang disusun secara alfabetis dan dilengkapi dengan penunjuk halaman.