

Eksplorasi Potensi Aktivitas Antibakteri Dan Enzimatis Jamur Asosiasi Kima (*Hippopus hippopus* Linnaeus, 1758) di Perairan Ambon

(Exploration of the Antibacterial and Enzymatic Potential of Fungal Associated with Giant Clams (*Hippopus hippopus* Linnaeus, 1758) in Ambon Waters)

Eka Wulidanisa, Delianis Pringgenies*, Wilis Ari Setyati

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia

*Corresponding authors: delianispringgenies@lecturer.undip.ac.id

Submit : 15 Desember 2025 Revisi : 20 Februari 2026 Diterima : 30 Maret 2026

ABSTRACT

Marine fungi associated with giant clams (*Hippopus hippopus*) are a source of secondary metabolites with great potential in the development of antibacterial agents and enzyme producers. Exploration of fungi from marine organisms is important considering the increasing need for new bioactive compounds. This study aims to: (1) determine the potential antibacterial activity against test bacteria, (2) determine the potential proteolytic, amylolytic, and lipolytic enzyme activities. The research methods include isolation of fungi from clam tissue, antibacterial tests using the agar plug method against test bacteria *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, and enzymatic activity tests. Three isolates of giant clam-associated fungi (*Hippopus hippopus*) were isolated, namely SK1 10.4, SK1 10.6, and SK1 10.6.2. Antibacterial tests of the three isolates showed inhibitory activity against the growth of test bacteria. Isolate SK1 10.6 was the best candidate because it had stable antibacterial activity and a large inhibition zone. In addition, this isolate also showed protease enzymatic activity.

Key word : Antibacterial, Enzymatic, Fungi, *Hippopus hippopus*, Secondary metabolites

ABSTRAK

Jamur laut yang berasosiasi dengan kima (*Hippopus hippopus*) merupakan salah satu sumber metabolit sekunder yang berpotensi besar dalam pengembangan agen antibakteri dan penghasil enzim. Eksplorasi jamur dari organisme laut menjadi penting mengingat meningkatnya kebutuhan terhadap senyawa bioaktif baru. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui potensi aktivitas antibakteri terhadap bakteri uji, (2) mengetahui potensi aktivitas enzim proteolitik, amilolitik, dan lipolitik. Metode penelitian meliputi isolasi jamur dari jaringan kima, uji antibakteri menggunakan metode *agar plug* terhadap bakteri uji *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, serta uji aktivitas enzimatis. Jamur asosiasi kima (*Hippopus hippopus*) yang diisolasi sebanyak 3 isolat, yaitu SK1 10.4, SK1 10.6, dan SK1 10.6.2. Uji antibakteri ketiga isolat tersebut menunjukkan adanya aktivitas penghambatan terhadap pertumbuhan bakteri uji. Isolat SK1 10.6 sebagai kandidat terbaik karena memiliki aktivitas antibakteri yang stabil dan zona hambat yang besar. Selain itu, isolat ini juga menunjukkan aktivitas enzimatis protease.

Kata kunci : Antibakteri, Enzimatis, *Hippopus hippopus*, Jamur, Metabolit sekunder

PENDAHULUAN

Kima merupakan bivalvia *mixotrofik* yang dapat dijumpai di perairan Indonesia. Kima dikategorikan sebagai kerang raksasa yang hidup di perairan laut tropis dan subtropis pada kedalaman 0-30 meter di area terumbu karang perairan Indo-Pasifik (Mies, 2018). Kima memiliki fungsi ekologis sebagai stabilitas ekosistem perairan, biofilter alami, tempat pemijahan, dan sumber makanan bagi organisme laut lainnya (Neo *et al.*, 2015). Kima berasosiasi dengan *zooxanthellae* di permukaan

cangkangnya yang menghasilkan energi bagi kima. Kima juga berpotensi menjadi sumber mikroorganisme asosiasi, seperti jamur laut yang hidup sebagai simbiosis, epifit, maupun endofit. Mikroorganisme yang bersimbiosis dengan kima berpotensi menghasilkan metabolit sekunder yang memiliki aktivitas biologi. Spesies Kima yang teridentifikasi saat ini adalah 12 spesies yang tersebar di perairan Indo-Pasifik dan 8 spesies dapat ditemukan di Indonesia, yaitu *Tridacna crocea*, *Tridacna derasa*, *Tridacna gigas*, *Tridacna maxima*, *Tridacna noae*, *Tridacna squamosa*, *Hippopus hippopus*, dan *Hippopus porcelanus* (Triandiza *et al.*, 2019).

Keaneekaragaman jamur di dunia diperkirakan mencapai 500.000 sampai 10 juta spesies dan jamur yang telah teridentifikasi oleh ahli jamur (*mycologists*) sekitar 5 juta spesies (Hawksworth dan Lucking, 2017). Jamur laut berpotensi menghasilkan senyawa bioaktif, seperti senyawa antibakteri dan enzim-enzim yang penting terhadap ekologis lingkungan laut, penerapan industri pangan, farmasi, dan bioteknologi (Goncalves *et al.*, 2021). Jamur asosiasi adalah jamur yang hidup bersama dengan organisme lain sebagai inangnya. Jamur asosiasi hidup sebagai simbiosis, endofit, maupun epifit terhadap inangnya. Jamur yang hidup sebagai simbiosis memiliki hubungan terhadap inangnya, seperti mutualisme, komensalisme, atau parasitisme. Jamur laut yang berasosiasi dengan kima berpotensi memberikan perlindungan terhadap mikroorganisme yang merugikan, mempermudah pencernaan, mempercepat metabolisme, dan meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang tidak sesuai (Santos *et al.*, 2023). Jamur laut juga memiliki peran penting dalam transfer energi, daur ulang nutrisi, serta penyeimbang siklus bahan organik terlarut di laut (Goncalves *et al.* 2022). Studi mengenai jamur laut masih terbatas sehingga membutuhkan eksplorasi dan penelitian lebih lanjut. Eksplorasi jamur yang berasosiasi dengan kima juga memberikan informasi mengenai potensi jamur terhadap kelangsungan hidup kima. Jamur yang berasosiasi berpotensi memberikan hubungan timbal balik terhadap kima. Hal ini memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai simbiosis jamur asosiasi dengan kima.

Jamur laut mampu menghasilkan senyawa bioaktif sebagai pertahanan diri jamur maupun melindungi inangnya. Senyawa bioaktif adalah zat kimia yang memiliki kemampuan untuk memberikan efek fisiologis kepada makhluk hidup sebagai upaya pertahanan diri. Senyawa bioaktif jamur adalah senyawa yang dihasilkan oleh jamur memiliki bioaktivitas terhadap makhluk hidup yang merugikan dan kondisi lingkungan yang tidak sesuai sebagai bentuk pertahanan diri. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh jamur laut memiliki berat molekul relatif kecil dan bioaktivitas yang baik (Wang *et al.*, 2022). Senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh jamur berupa metabolit sekunder yang memiliki kemampuan sebagai antimikroba, antijamur, antiparasit, antikanker, antivirus, dan senyawa lainnya (Hashem *et al.* 2023). Selain itu, jamur juga memproduksi enzim ekstraseluler maupun intraseluler untuk mendegradasi bahan organik kompleks yang ada di sekitar tempat hidupnya, melindungi inang dan membantu mencerna makanan inang, serta sebagai adaptasi terhadap lingkungan yang tidak optimal.

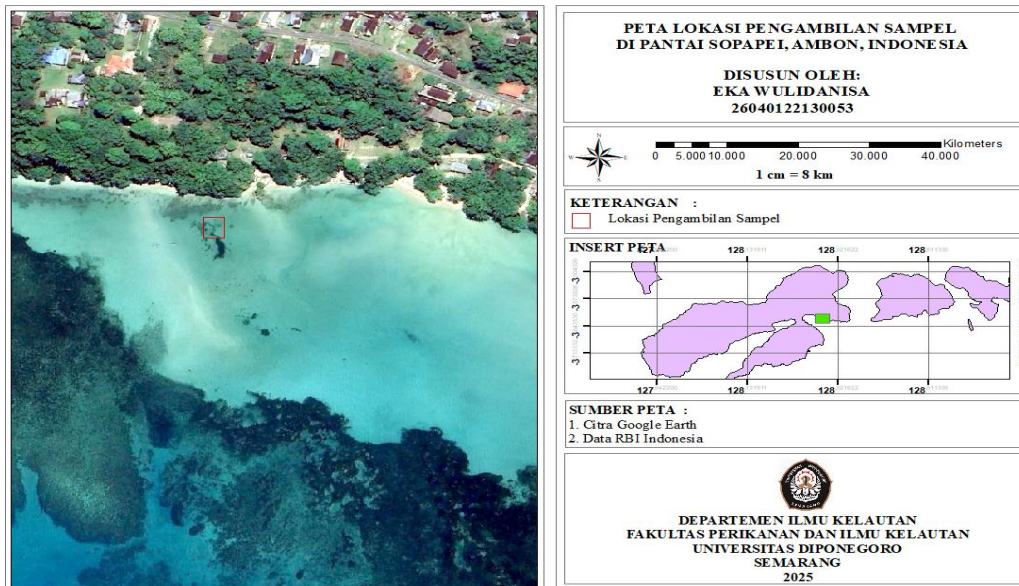
Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh jamur laut memerlukan eksplorasi dan pengujian berlanjut sehingga dapat dimanfaatkan dalam bidang bioprospeksi. Penelitian mengenai metabolit sekunder jamur laut belum banyak dilakukan dan masih terbatas sehingga memerlukan eksplorasi dan pengujian. Penelitian jamur laut dapat meliputi eksplorasi senyawa metabolit sekunder, identifikasi molekuler, bahkan pengujian aplikatif berbagai produk. Senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan jamur laut dapat dimanfaatkan dalam bidang bioprospeksi melalui berbagai pengujian dan sertifikasi keamanan. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi tahap awal dalam pengembangan metabolit sekunder jamur laut yang dapat diaplikasikan pada bidang bioprospeksi.

MATERI DAN METODE

Lokasi Penelitian

. Lokasi pengambilan sampel kima (*Hippopus hippopus*) dilakukan di Pantai Sopapei Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku, Pulau Ambon dengan titik koordinat 3°37'30.14"S

128°18'7.58"E. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan November 2024. Proses pengujian sampel dilakukan di *Laboratorium Tropical Marine Biotechnology*, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Kima (*Hippopus hippopus*)

Metode Penelitian

Pengambilan sampel

Ada 2 sampel kima yang dibiopsi menggunakan alat-alat steril. Kima yang dibiopsi berukuran 7 cm dengan kedalaman 30 cm pada titik koordinat 3°37'30.14"S 128°18'7.58"E. Biopsi dilakukan dengan mengambil jaringan mantel kima 1-2 cm menggunakan gunting bedah, pinset, dan pisau bedah steril. Jaringan mantel tersebut dibilas menggunakan air laur steril kemudian dimasukkan ke *ziplock* dan diletakkan pada *coolbox* yang berisi es batu.

Isolasi dan Purifikasi Jamur

Jaringan mantel kima yang dibiopsi dibilas menggunakan air laut steril kemudian dihaluskan dan dilakukan pengenceran bertingkat. Pada pengenceran 10⁻⁴ dan 10⁻⁶ ditumbuhkan ke media PDA (*Potato Dextrose Agar*) yang dicampurkan kloramfenikol 500 mg/L untuk mencegah pertumbuhan bakteri (Correa *et al.* 2022). Isolasi jamur menggunakan teknik *spread plate* (Ilesanmi *et al.* 2020). Sebanyak 400µL dari *tube* pengenceran dimasukkan ke media agar, diratakan menggunakan *spreader*, dan diinkubasi selama 7 hari. Pemurnian jamur dilakukan dengan mengambil sebagian spora menggunakan ose jarum steril dan dipindahkan ke media PDA baru. Isolat tersebut diinkubasi pada suhu 26°C selama 7 hari (Ayuningtyas *et al.* 2021).

Uji Antibakteri

Bakteri uji yang digunakan adalah *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, dan *Staphylococcus epidermidis*. Bakteri uji diinokulasi menggunakan media *nutrient broth* dan diinkubasi selama 24 jam pada *shaker* dengan kecepatan 100 rpm. Kepadatan bakteri uji setara dengan larutan standar McFarland 0,5. Bakteri uji sebanyak 100 µL diratakan menggunakan *cotton swab sterile* pada media MHA (*Mueller Hinton Agar*). Jamur yang telah diinkubasi selama 7 hari dipindahkan ke media MHA (*Mueller Hinton Agar*) dengan metode agar plug (Taufiq dan Darah, 2019). Diameter agar plug berkisar 7 mm dan dilakukan 2 pengulangan pada masing-masing uji. Zona bening yang terbentuk di sekitar agar plug disebut sebagai zona hambat pertumbuhan bakteri uji. Kontrol positif yang digunakan adalah paper disk yang ditambahkan kloramfenikol sebanyak 30 µg/disk. Kontrol negatif yang digunakan adalah agar plug PDA steril.

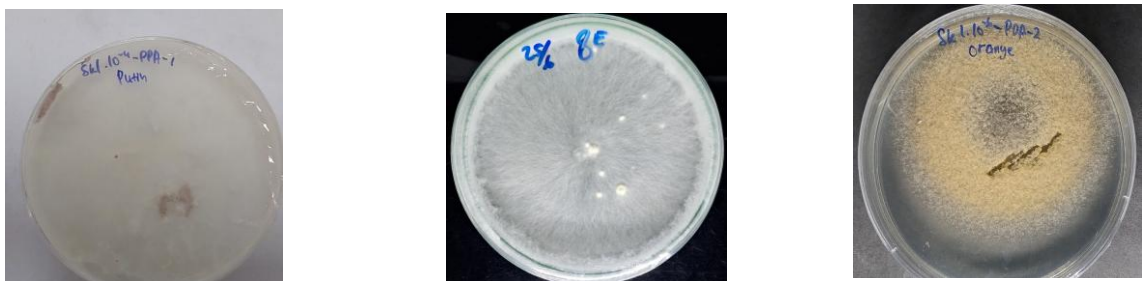
Uji Enzimatis

Uji enzimatik yang dilakukan adalah uji enzim ekstraseluler protease, amilase dan lipase menggunakan metode agar plug. Pengujian enzim protease dilakukan menggunakan media PDA steril yang ditambahkan dengan 2% skimmed milk bubuk. Pengujian enzim amilase dilakukan menggunakan media PDA dan ditambahkan 2% starch (Bahry et al., 2021). Pengujian enzim lipase menggunakan media PDA dan ditambahkan 1% tween 80. Jamur yang telah diinkubasi selama 7 hari dipindahkan ke media-media tersebut dengan metode agar plug. Zona bening yang terbentuk pada media pengujian enzim protease menunjukkan aktivitas enzim protease. Pengamatan aktivitas enzim amilase ditambahkan iodine untuk melihat zona bening yang terbentuk. Pengamatan aktivitas enzim lipase ditandai dengan adanya bintik-bintik di sekitar koloni jamur. Rumus indeks enzimatik yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Indeks Enzimatis} = \frac{\text{Diameter Zona}}{\text{Diameter Koloni}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolat jamur yang diekstraksi dari jaringan mantel kima (*Hippopus hippopus*) di Pantai Sopapei, Ambon, menunjukkan ciri morfologi koloni yang khas pada media PDA berbasis air laut. Terdapat 3 isolat jamur yang memiliki potensi bioaktif, yaitu isolat SK1 10.4, SK1 10.6 dan SK1 10.6.2. Koloni jamur SK1 10.4 memiliki warna putih dengan beberapa bercak kecoklatan pada inkubasi hari ke-14. SK1 10.4 menyebar ke Koloni jamur SK1 10.6 menyebar merata dengan tepian yang halus dan dominan berwarna putih di beberapa area terlihat kekuningan. Tekstur jaringan koloni jamur ini tebal, padat, dan menyerupai kapas dengan miselium yang menutupi seluruh permukaan media dalam waktu inkubasi hari ke-7. Isolat SK1 10.6 mengeluarkan butiran air kecil (*guttation*) yang terlihat pada bagian atas cawan petri dan di permukaan jamur, diperkuat oleh Krain dan Siupka (2021), yang menyatakan bahwa adanya *guttation* pada isolat jamur menandakan adanya aktivitas metabolisme. Sedangkan, isolat SK1 10.6.2 berwarna kuning-oranye, koloni menyebar secara radial, koloni tidak terlalu padat, koloni besar berbentuk bulat, dan tekstur lembut dengan permukaan seperti kain wol (*floccose*). Pertumbuhan jamur SK1 10.6.2 lebih cepat dibandingkan dengan jamur SK1 10.6. Pertumbuhan jamur SK1 10.6.2 pada hari ke-5 hampir memenuhi seluruh permukaan media. Bentuk jamur pada media agar dapat memiliki perbedaan dengan bentuk jamur di habitat aslinya. Hal tersebut diperkuat oleh Camenzind *et al.* (2021), yang menyatakan bahwa morfologi jamur dapat terjadi perbedaan yang disebabkan oleh berbagai



faktor, seperti keterbatasan nutrisi dan kondisi lingkungan yang kurang sesuai.

(a) (b) (c)
Gambar 2. a) Isolat SK1 10.4; b) Isolat SK1 10.6; c) Isolat SK1 10.6.2

Hasil uji aktivitas antibakteri terhadap isolat SK1 10.4, SK1 10.6, dan SK1 10.6.2 yang berasosiasi dengan jaringan lunak kima (*Hippopus hippopus*) menunjukkan kemampuan yang bervariasi dalam menghambat pertumbuhan 5 jenis bakteri uji, yaitu *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Cutibacterium acnes*. Pengamatan aktivitas antibakteri dilakukan pada dua interval waktu, yaitu 24 jam dan 48 jam inkubasi yang tertera pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Uji Aktivitas Antibakteri

No.	Bakteri Uji	Waktu (Jam)	Hasil Uji (mm)		
			SK1 10.4	SK1 10.6	SK1 10.6.2
1.	<i>S. aureus</i>	24	7,89±0,31	14,47±0,47	11,01±0,14
		48	7,28±0,30	13,74±0,36	11,33±0,16
2.	<i>E. coli</i>	24	11,61±0,11	15,21±0,01	14,45±0,05
		48	11,47±0,02	18,21±0,04	15,27±0,27
3.	<i>S. epidermidis</i>	24	11,51±1,28	21,57±1,23	17,57±0,88
		48	9,28±0,28	11,39±1,16	16,12±0,62
4.	<i>P. aeruginosa</i>	24	5,6±0,05	15,01±0,09	5,12±0,02
		48	3,85±0,29	10,47±0,02	3,44±0,11

S. aureus adalah bakteri gram positif yang dapat menginfeksi manusia dan hewan. Bakteri ini dapat menginfeksi kulit dan jaringan mukosa yang menyebabkan infeksi ringan hingga berat (Linz *et al*, 2023). Pengujian isolat SK1 10.4 terhadap *S. aureus* pada waktu 24 jam menunjukkan adanya aktivitas penghambatan yang cukup besar yaitu 7,89±0,31 mm dan mengalami penurunan zona hambat pada waktu 48 jam menjadi 7,28±0,30 mm akibat adanya perluasan zona tumbuh jamur. Hal tersebut diperkuat oleh Hossain (2024), yang menyatakan bahwa pertumbuhan jamur saat pengujian antibakteri mempengaruhi aktivitas antibakteri. Pertumbuhan jamur saat pengujian antibakteri disebut juga sebagai salah satu adaptasi jamur dalam melawan bakteri uji. Pengujian isolat SK1 10.6 terhadap bakteri *S. aureus* menunjukkan potensi besar dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Pada penelitian yang telah dilakukan, waktu inkubasi 24 jam zona hambat yang dibentuk sebesar 14,47±0,47 mm dan pada waktu inkubasi 48 jam zona hambat sedikit mengalami penurunan yaitu 13,74±0,36 mm. Zona hambat tersebut dikategorikan besar sehingga jamur isolat SK1 10.6 dapat dijadikan kandidat yang dapat dikembangkan sebagai sumber antibiotik. Sedangkan, pengujian isolat SK1 10.6.2 terhadap bakteri *S. aureus* pada waktu inkubasi 24 jam sebesar 11,01±0,14 mm dan mengalami sedikit kenaikan pada waktu inkubasi 48 jam menjadi 11,33±0,16 mm. Perbedaan penurunan zona bening pada kedua isolat menyatakan bahwa terdapat perbedaan respon dan sensitivitas jamur terhadap bakteri uji. Isolat SK1 10.6.2 berpotensi memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap bakteri *S. aureus* dibandingkan dengan isolat SK1 10.6.

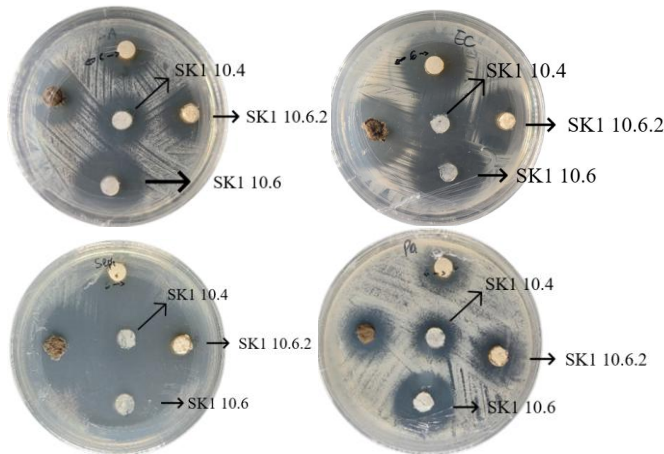
E. coli adalah bakteri gram negatif yang dapat menginfeksi manusia dan hewan. Sesuai dengan pernyataan Mentzer dan Svennerholm (2024), yang menyatakan bahwa jumlah *E. coli* yang berlebihan pada manusia maupun hewan menyebabkan infeksi. Pengujian aktivitas antibakteri SK1 10.4 terhadap bakteri uji *E. coli* pada waktu 24 jam terdapat zona hambat sebesar 11,61±0,11 mm dan pada waktu 48 jam zona hambat yang terbentuk masih stabil yaitu 11,47±0,02 mm. Zona hambat yang terbentuk pada isolat SK1 10.4 cukup stabil. Pengujian isolat SK1 10.6 terhadap bakteri *Escherichia coli* menunjukkan potensi yang besar karena mengalami peningkatan zona hambat pada waktu inkubasi ke 48 jam. Pada waktu inkubasi 24 jam zona hambat yang terbentuk sebesar 15,21±0,01 mm dan 48 jam sebesar 18,21±0,04 mm. Sedangkan, pengujian isolat SK1 10.6.2 pada waktu inkubasi 24 jam sebesar 14,45±0,05 mm dan mengalami peningkatan pada waktu inkubasi 48 jam menjadi 15,27±0,27 mm.

S. epidermidis adalah bakteri gram positif yang sering ditemukan pada kulit dan mukosa manusia. Bakteri *S. epidermidis* memiliki resistensi yang tinggi akibat adaptasi yang dilakukan terhadap antibiotik, hal ini sesuai dengan pernyataan Severn dan Horswill (2023), yang menyatakan bahwa *S. epidermidis* dapat membentuk biofilm menyebabkan resistensi terhadap antibiotik. Pengujian aktivitas antibakteri SK1 10.4 terhadap bakteri uji *S. epidermidis* pada waktu 24 jam cukup tinggi yaitu 11,51±1,28 mm dan mengalami penurunan pada waktu 48 jam menjadi 9,28±0,28 mm akibat perluasan

zona tumbuh jamur. Pengujian isolat SK1 10.6 terhadap bakteri *S. epidermidis* menunjukkan adanya potensi dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Pada waktu inkubasi 24 jam zona hambat yang terbentuk sangat besar yaitu $21,57 \pm 1,23$ mm. Namun, pada waktu inkubasi 48 jam terjadi penurunan zona hambat secara signifikan menjadi $11,39 \pm 1,16$ mm. Hal ini menandakan bahwa senyawa antibakteri tersebut tidak cukup stabil dalam menghambat pertumbuhan bakteri *S. epidermidis*. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Surya *et al.* (2025), yang menyatakan bahwa penurunan diameter zona hambat pada uji antibakteri disebut sebagai bakteriostatik. Stabilitas dan efektivitas jamur tidak cukup untuk menghambat pertumbuhan *S. epidermidis* saat waktu inkubasi lebih lama. Sedangkan, pengujian isolat SK1 10.6.2 terhadap bakteri *S. epidermidis* pada waktu inkubasi 24 jam sebesar $17,57 \pm 0,88$ mm dan mengalami sedikit penurunan pada waktu inkubasi 48 jam menjadi $16,12 \pm 0,62$ mm. Penurunan zona hambat pada isolat SK1 10.6.2 tidak terlalu banyak sehingga sensitivitas jamur ini lebih tinggi dibandingkan dengan isolat SK1 10.6 yang penurunan zona hambat terhadap bakteri uji sangat signifikan.

Pengujian aktivitas antibakteri SK1 10.4 terhadap bakteri uji *P. aeruginosa* pada waktu 24 jam sebesar $5,6 \pm 0,05$ mm dan pada waktu 48 jam terjadi penurunan zona hambat menjadi $3,85 \pm 0,29$ mm. Pengujian isolat SK1 10.6 terhadap bakteri *P. aeruginosa* menunjukkan potensi dalam menghambat pertumbuhan bakteri tersebut. Pada waktu inkubasi 24 jam zona hambat yang terbentuk sebesar $15,01 \pm 0,09$ mm dan terjadi penurunan pada waktu inkubasi 48 jam yaitu $10,47 \pm 0,02$ mm. Sedangkan, pengujian isolat SK1 10.6.2 terhadap bakteri *P. aeruginosa* memiliki zona hambat yang cukup rendah, yaitu pada waktu inkubasi 24 jam sebesar $5,12 \pm 0,02$ mm dan pada waktu 48 jam mengalami penurunan menjadi $3,44 \pm 0,11$ mm. Kedua isolat tersebut menunjukkan sensitivitas yang berbeda dalam menghambat pertumbuhan bakteri *P. aeruginosa*. Sensitivitas isolat SK1 10.6 lebih tinggi dibandingkan dengan isolat SK1 10.6.2. Hal ini menunjukkan bahwa isolat jamur tidak cukup stabil dalam menghambat pertumbuhan bakteri dalam waktu yang lebih lama. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Urganci *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa *P. aeruginosa* dapat membentuk biofilm sehingga menyebabkan resistensi.

Berdasarkan uji antibakteri yang telah dilakukan pada empat bakteri uji, yaitu *S. aureus*, *Escherichia coli*, *S. epidermidis*, dan *P. aeruginosa*, dengan hasil yang positif dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Isolat jamur SK1 10.4, SK1 10.6 dan SK1 10.6.2 memiliki aktivitas antibakteri yang cukup besar, hal ini sesuai dengan pernyataan Bakhtra *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa zona hambat 10-20 mm dikategorikan kuat. Namun, kedua isolat tersebut memiliki sensitivitas yang berbeda dalam menghambat pertumbuhan bakteri uji sehingga kedua isolat tersebut memiliki kandungan bioaktif yang berbeda dan respon yang berbeda dalam menghambat pertumbuhan bakteri uji. Isolat jamur SK1 10.4, SK1 10.6 dan SK1 10.6.2 memiliki senyawa bioaktif antibakteri yang dapat dikembangkan dalam berbagai bidang. Hal ini diperkuat oleh Kour *et al.* (2019), bahwa jamur dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, industri, dan bioteknologi. Bakteri uji yang digunakan adalah bakteri yang banyak ditemukan menginfeksi manusia (bersifat patogen dalam jumlah tertentu) sehingga pengujian lebih lanjut mengenai potensi jamur ini sangat bermanfaat, hal ini diperkuat oleh Karwehl dan Standler (2016), bahwa jamur dapat dijadikan sumber antibiotik baru. Berdasarkan pengujian antibakteri yang telah dilakukan, isolat SK1 10.6 memiliki stabilitas antibakteri yang cukup baik dibandingkan dengan isolat SK1 10.4 dan SK1 10.6.2. Pengujian ini membutuhkan penelitian lebih lanjut sehingga dapat diimplementasikan menjadi produk yang berbasis sumber hayati laut. Selain itu, senyawa antibakteri pada jamur ini juga memungkinkan untuk melindungi kima dari bakteri-bakteri patogen yang menyebabkan penyakit atau mengganggu pertumbuhan kima. Senyawa ini akan membantu kima untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen. Hal ini dapat meningkatkan ketahanan kima terhadap kondisi lingkungan yang kurang stabil.



Gambar 3. Pengujian Antibakteri Isolat Jamur terhadap Bakteri Uji

Pengujian enzim yang dilakukan terhadap 3 isolat jamur asosiasi kima adalah enzim protease, amilase, dan lipase. Pengujian enzimatik secara ekstraseluler menggunakan metode *agar plug*. Hasil pengujian aktivitas proteolitik dapat dilihat pada **Tabel 2**. Uji enzimatik ekstraseluler protease yang dilakukan terhadap isolat jamur SK1 10.4 tidak menunjukkan adanya zona bening di sekitar isolat sehingga tidak menunjukkan adanya aktivitas proteolitik. Isolat SK1 10.6 menunjukkan kemampuan untuk mendegradasi protein ke bentuk yang lebih sederhana sehingga terdapat zona bening di sekitar isolat jamur. Hal tersebut diperkuat oleh pernyataan Sattar *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa zona bening di sekitar jamur menandakan jamur tersebut dapat menyederhanakan kasein. Zona bening yang terbentuk pada waktu inkubasi 24 jam sebesar $5,9\pm 0,14$ mm dan terjadi peningkatan pada waktu inkubasi 48 jam sebesar $6,325\pm 0,11$ mm. Sedangkan, indeks proteolitik pada inkubasi 24 jam adalah $0,98\pm 0,02$ dan inkubasi 48 jam adalah $1,05\pm 0,02$. Berdasarkan zona bening yang terbentuk, isolat jamur SK1 10.6 memiliki aktivitas enzim protease sedang dan stabil. Indeks proteolitik isolat tersebut dikategorikan rendah, hal tersebut diperkuat oleh pernyataan Hengkengbala *et al.* (2021), yang menyatakan bahwa indeks proteolitik $<2,1$ mm dikategorikan rendah. Sedangkan, pada isolat SK1 10.6 tidak menunjukkan adanya aktivitas enzim protease sehingga dalam pengujian tidak membentuk zona bening yang menandakan degradasi terhadap kasein.

Tabel 2. Aktivitas Enzim Protease

No.	Kode Isolat	Protease (mm)		Indeks Proteolitik	
		24 Jam	48 Jam	24 Jam	48 Jam
1.	SK1 10.4	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
2.	SK1 10.6	$5,9\pm 0,14$	$6,325\pm 0,11$	$0,98\pm 0,02$	$1,05\pm 0,02$
3.	SK1 10.6.2	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

Uji enzimatik ekstraseluler amilase yang dilakukan terhadap isolat jamur SK1 10.4 menunjukkan adanya aktivitas amilolitik (**Tabel 3**). Pengujian pada waktu 24 menunjukkan zona bening yang sangat kecil pada pengulangan 1 maupun pengulangan 2. Zona bening yang terbentuk pada waktu 24 jam adalah $2,25\pm 1,20$ mm dan pada waktu 48 jam adalah $5,4\pm 0,21$ mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa isolat SK1 10.4 dapat mendegradasi pati (amilum) menjadi glukosa. Indeks amilolitik isolat SK1 10.4 pada waktu 24 jam adalah $0,42\pm 0,17$ dan pada waktu 48 jam adalah $0,77\pm 0,03$. Indeks amilolitik yang terbentuk dikategorikan kecil dan cukup stabil. Pengamatan dilakukan dengan penambahan iodine sehingga zona bening yang terbentuk terlihat dengan jelas. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Abe *et al.* (2015), yang menyatakan bahwa reagen iodine 1% digunakan untuk mendeteksi amilase yang terdegradasi dalam pengujian enzim amilase. Pengujian isolat SK1 10.6 dan SK1 10.6.2 tidak menunjukkan adanya aktivitas amilolitik sehingga tidak terdapat zona bening yang terbentuk. Sedangkan, pengujian enzim lipase pada ketiga isolat tidak menunjukkan adanya aktivitas lipolitik (**Tabel 4**).

Tabel 3. Aktivitas Enzim Amilase

No.	Kode Isolat	Amilase (mm)		Indeks Amilolitik	
		24 Jam	48 Jam	24 Jam	48 Jam
1.	SK1 10.4	2,25±1,20	5,4±0,21	0,42±0,17	0,77±0,03
2.	SK1 10.6	0±0	0±0	0±0	0±0
3.	SK1 10.6.2	0±0	0±0	0±0	0±0

Tabel 4. Aktivitas Enzim Lipase

No.	Kode Isolat	Lipase (mm)		Indeks Lipolitik	
		24 Jam	48 Jam	24 Jam	48 Jam
1.	SK1 10.4	0±0	0±0	0±0	0±0
2.	SK1 10.6	0±0	0±0	0±0	0±0
3.	SK1 10.6.2	0±0	0±0	0±0	0±0

Enzim protease yang diproduksi oleh jamur tersebut memberikan keuntungan bagi inangnya, yaitu kima (*Hippopus hippopus*) untuk membantu pencernaan dan metabolisme. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Abdulkareem *et al.* (2023), yang menyatakan bahwa adanya potensi enzim protease membantu inang dalam menjaga kesehatan jaringan tubuhnya dengan mendegradasi jaringan yang rusak. Degradasi jaringan tubuh yang rusak memicu respon imun pada kima sehingga memicu aktivasi sistem pertahanan. Enzim protease yang dihasilkan jamur mampu memecah protein kompleks menjadi fragmen peptida atau asam amino. Hasil degradasi dapat dijadikan sebagai senyawa bioaktif. Jamur yang memiliki enzim protease juga berperan dalam mendegradasi protein yang ada pada bakteri patogen dengan cara merusak membran sel bakteri tersebut. Dengan demikian, aktivitas protease dari jamur berasosiasi dengan kima memberikan manfaat bagi kima, yaitu menghancurkan protein bakteri yang merugikan sekaligus menghasilkan fragmen bioaktif yang dapat memicu respon imun.

Kemampuan isolat jamur SK1 10.4 yang menghasilkan amilase berpotensi berperan dalam metabolisme dan pencernaan makanan kima. Amilase berperan untuk membantu menyederhanakan amilum menjadi glukosa yang mudah dicerna oleh tubuh. Hal tersebut diperkuat oleh pernyataan Imran *et al.* (2016), yang menyatakan bahwa adanya enzim amilase dapat membantu mencerna makanan. Kima mendapat sumber makanan dari *zooxanthellae* dan sistem *filter feeder* sehingga dalam sistem pencernaan kima membutuhkan enzim yang membantu mencerna makanan tersebut. Adanya jamur yang ditemukan di jaringan lunak kima berpotensi bahwa enzim protease dan amilase membantu kima dalam menjalankan metabolisme dan mencerna makanan. Kima hidup di perairan yang terjaga dengan kualitas perairan yang baik di perairan Ambon sehingga enzim lipase yang biasanya digunakan untuk menguraikan lemak/minyak tidak ditemukan pada jamur asosiasi. Enzim lipase di lingkungan biasanya digunakan untuk menguraikan polutan, seperti *oil spill*. Jamur yang berasosiasi dengan kima dapat mengeluarkan senyawa bioaktif untuk membantu inangnya dalam mempercepat metabolisme, melindungi dari mikroorganisme yang merugikan, maupun, membantau bertahan pada lingkungan yang tidak stabil.

Berdasarkan hasil uji antibakteri dan enzimatik, isolat SK1 10.6 memiliki aktivitas antibakteri yang stabil dan memiliki aktivitas enzim protease yang sedang. Isolat ini diisolasi pada jaringan mantel kima yang menjadi salah satu habitat *zooxanthellae* dan mikroorganisme untuk membantu kima menyerap nutrisi dari hasil fotosintesis maupun dari air laut. Mikroorganisme, seperti jamur yang berasosiasi pada kima memiliki hubungan mutualisme. Jamur mengeluarkan metabolit sekunder untuk mendapatkan nutrisi dan melindungi kima dari mikroorganisme patogen serta mengurangi *stress* pada kima. Isolat ini memiliki metabolit sekunder yang perlu penelitian berkelanjutan untuk mengidentifikasi jamur dan mengetahui senyawa metabolit yang dimiliki oleh isolat tersebut. Metabolit sekunder yang diproduksi oleh jamur dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan pada berbagai bidang, seperti kosmetik, farmasi, dan berbagai industri lainnya.

KESIMPULAN

Isolat jamur yang berasosiasi dengan kima (*Hippopus hippopus*) didapatkan 3 isolat, yaitu SK1 10.4, SK1 10.6, dan SK1 10.6.2. Ketiga isolat tersebut memiliki senyawa antibakteri terhadap lima bakteri uji, yaitu *S. aureus*, *E. coli*, *S. epidermidis*, dan *P. aeruginosa* yang memiliki sensitivitas berbeda-beda. Aktivitas proteolitik hanya dimiliki oleh isolat SK1 10.6, aktivitas amilolitik hanya dimiliki oleh isolat SK1 10.4, dan tidak ada aktivitas lipolitik dari ketiga isolat jamur tersebut. Adanya senyawa antibakteri dan aktivitas enzimatis terhadap jamur asosiasi kima berpotensi untuk menunjang keberlangsungan hidup kima dan membantu metabolisme kima. Isolat SK1 10.6 dapat dikembangkan dalam bidang kosmetik, farmasi, dan berbagai industri dengan memanfaatkan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh isolat tersebut. Hal tersebut memerlukan penelitian lebih lanjut, seperti identifikasi molekuler jamur dan identifikasi senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam isolat jamur sehingga dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan dalam bentuk produk industri maupun lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Marine Techno Park Universitas Diponegoro dalam mendukung penulis melakukan kegiatan identifikasi dan isolasi.

DEKLARASI

Para penulis mendeklarasikan tidak adanya konflik selama pembuatan artikel ini

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, A. A., Taweel, F. B. A., Sharqi, A. J. B. A., Gul, S. S., Sha, A. Chapple, I. L. C., (2023). Current concepts in the pathogenesis of periodontitis: from symbiosis todysbiosis. *Journal of Oral Microbiology*, 15(1): 1-19. <https://doi.org/10.1080/20002297.2023.2197779>
- Abe, C. A. L., Faria, C. B., Castro, F. F. D., Souza, S. R. D., Santos, F. C., Silva, C. N. D., Tessmann, D. J. Tessmann, P. B. (2015). Fungi isolated from maize (*Zea mays* L.) grains and production of associated enzyme activities. *International Journal of Molecular Sciences*, 16: 15328-15346. <https://doi.org/10.3390/ijms160715328>
- Ayuningtyas, E. P., Sibero, M. T., Hutapea, N. B., Frederick, E. H., Murwani, R., Zilda, D. S., Wijayanti, D. P., Sabdono, A., Pringgenies, D. Radjasa, O. K. (2021). screening of extracellular enzyme from phaeophyceae associated fungi. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 750(1): 1-10. [10.1088/1755-1315/750/1/012005](https://doi.org/10.1088/1755-1315/750/1/012005)
- Bahry, M. S., Radjasa, O. K. Trianto, A. (2021). Potential of Marine Sponge-Derived Fungi in the Aquaculture System. *Biodiversitas*, 22(7):2883-2892. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220740>
- Bakhtra, D., Yanwirasti, Y., Wahyuni, F. S., Aminah, I., Handayani, D. (2022). Antimicrobial and Cytotoxic Activities Screening of Marine Invertebrate-Derived Fungi Extract from West Sumatera, Indonesia. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10: 1427-1432. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.10374>
- Camenzind, T., Trigueros, C. A. A., Hempel, S., Lehmann, A., Bielcik, M., Linares, D. R. A., Bergmann, J., Cruz, J. D., Gawronski, J., Golubeva, P., Haslwimmer, H., Lartey, L., Leifheit, E., Maab, S., Marhan, S., Pinek, L., Powell, J. R., Roy, J., Veresoglou, S. D., Wang, D., Wulf, A., Zheng, W., Rillig, M. C. (2024). Towards establishing a fungal economics spectrum in soil saprobic fungi. *Nature Communications*, 15(3321): 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47705-7>
- Gonçalves, M. F. M., Esteves, A. C., Alves, A. (2022). Marine fungi: opportunities and challenges. *Encyclopedia*, 2(1): 559-577. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010037>
- Goncalves, M. F. M., Paco, A., Escada, L. F., Albuquerque, M. S. F., Pinto, C. A., Saraiva, J. A., Duarte, A. S., Santos, T. A. P. R., Esteves, A. C., Alves, A. (2021). Unveiling biological activities of marine fungi: the effect of sea salt. *Applied Sciences*, 11(13): 1-18. <https://doi.org/10.3390/app11136008>

- Correa, T. A., Santos, F. S., Camargo, M. G., Quinelato, S., Bittencourt, V. R. E. P. Golo, P. S. (2022). Comparison of methods for isolating entomopathogenic fungi from soil samples. *Journal of Visualized Experiments*, 179: 1-12. <https://dx.doi.org/10.3791/63353>
- Hashem, A. H., Attia, M. S., Kandil, E. K., Fawzi, M. M., Abdelrahman, A. S., Khader, M. S., Khodaira, M. A., Emam, A. E., Goma, M. A. Abdelaziz, A. M. (2023). Bioactive compounds and biomedical applications of endophytic fungi: a recent review. *Microbial Cell Factories*, 22: 1-23. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02118-x>
- Hawksworth, D. L. Lucking, R. (2017). Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Eukaryotes: Fungi and Parasitology*, 5(4): 1-17. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016>
- Hengkengbala, S. I., Lintang, R. A. J., Sumilat, D. A., Mangindaan, R. E. P., Ginting, E. L. Tumembouw, S. (2021). Karakteristik morfologi dan aktivitas enzim protease bakteri simbiosis nudibranch. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 9(3): 83-94. <https://doi.org/10.35800/jplt.9.3.2021.36672>
- Hossain, T. J. (2024). Methods for Screening and evaluation of antimicrobial activity: a review of protocols, advantages, and limitations. *European Journal of Microbiology and Immunology*, 14(2): 97-115. <https://doi.org/10.1556/1886.2024.00035>
- Ilesanmi, O. I., A. E. Adekunle, J. A. Omolaiye, E. M. Olorode, A. L. Ogunkanmi. (2020). Isolation, optimization and molecular characterization of lipase producing bacteria from contaminated soil. *Scientific African*, 8: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00279>
- Imran, M., Nazar, M., Saif, M., Khan, M. A., Sanaullah, S., Vardan, M., Javed, O. (2016). Role of enzymes in animal nutrition: a Review. *PSM Veterinary Research*, 1(2): 38-45. <https://psmjournals.org/index.php/vetres/article/view/84>
- Karwehl, S. Stadler, M. (2016). Exploitation of fungal biodiversity for discovery of novel antibiotics. *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 398: 1-36. https://doi.org/10.1007/82_2016_496
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, N., Yadav, A. N., Singh, J., Rastegari, A. A. Saxena, A. K. (2019). Agriculturally and Industrially Important Fungi: Current Developments and Potential Biotechnological Applications. *BMC Marine Science*, 2: 1-64. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14846-1_1
- Krain, A., Siupka, P. (2021). Fungal Guttation, a Source of Bioactive Compounds, and Its Ecological Role—A Review. *Biomolecules*, 11(9): 1-17. <https://doi.org/10.3390/biom11091270>
- Linz, M. S., Mattappallil, A., Finkel, D. Parker, D. (2023). Clinical Impact of *Staphylococcus aureus* Skin and Soft Tissue Infections. *Antibiotics*, 12(3): 1-27. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030557>
- Mies, M. (2019). Evolution, diversity, distribution and the endangered future of the giant clam-symbiodiniaceae association. *Coral Reefs*, 38: 1067-1084. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01857-x>
- Neo, M. L., Eckman, W., Vicentuan, K., Teo, S. L. M. Todd, P. A. (2015). The ecological significance of giant clams in coral reef ecosystems. *Biological Conservation*, 181: 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.004>
- Santos, M. M., Soares, H. K. S. S., Sousa, A. M., Bezerra, N. P. C., Cantanhede, S. P. D. Serra, I. M. R. S. (2023). Mapping of The World Scientific Production on Bacterial and Fungal Microbiota in Mollusks. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(2): 268-281. <http://dx.doi.org/10.3856/vol51-issue2-fulltext-2908>
- Sattar, H., Bibi, Z., Kamran, A., Aman, A. Qader, S. A. U. (2019). Degradation of Complex Casein Polymer: Production and Optimization of A Novel Serine Metalloprotease from *Aspergillus niger* KIBGE-IB36." *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101256>

- Severn, M. M., Horswill, A. R. (2023). *Staphylococcus epidermidis* and its dual lifestyle in skin health and infection. In *Nature Reviews Microbiology*, 21(2): 97–111. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00780-3>
- Surya, S., Pringgenies, D., Sedjati, S., (2025). Antibacterial and Enzymatic Activities of Symbiotic Bacteria from Gastropods and Bivalves in Marine Skincare Applications. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 20(1): 83–90. <https://doi.org/10.18280/ijdne.200109>
- Taufiq, M. M. J., Darah, I., 2019. Antibacterial activity of an endophytic fungus *Lasiodiplodia pseudotheobromae* IBRL OS-64 residing in leaves of a medicinal herb, *Ocimum sanctum* linn. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 7(2): 35–41. <https://doi.org/10.7324/JABB.2019.70207>
- Triandiza, T., Zamani, N. P., Madduppa, H., Hernawan, U. E. (2019). Distribution and abundance of the giant clams (Cardiidae: Bivalvia) on Kei Islands, Maluku, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(3): 884-892. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200337>
- Urganci, N. N., Yılmaz, N., Koçer Alaşalvar, G., Yıldırım, Z. (2022). *Pseudomonas aeruginosa* and Its Pathogenicity. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(4): 726–738. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i4.726-738.4986>