

Aktivitas Antioksidan dan Fotoproteksi Ekstrak Kasar Bakteri Berpigmen Asosiasi Gastropoda *Cassidula nucleus*

Marwa Irfan Hanif*, Delianis Pringgienies, Wilis Ari Setyati

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50275
Email: marwairfan4@gmail.com

Abstract

Antioxidant and Photoprotection Activities of Crude Extract of Pigmented Bacteria Associated with the Gastropod *Cassidula nucleus*

Excessive UV radiation generates free radicals, damaging healthy skin cells. Bioactive compounds with photoprotection and antioxidant properties offer a promising treatment for this damage. Pigments, often sourced from marine microbes associated with marine organisms, are natural materials known for these capabilities. This study aimed to identify antioxidant and photoprotection activities in pigmented bacteria linked to gastropods. A source of pigments is marine microbes associated with marine organisms. This study aims to determine the antioxidant and photoprotection activities of pigmented bacteria associated with the gastropod. Gastropod samples were obtained from the mangrove ecosystem of Mangkang Semarang and bacteria were isolated by the spread plate method. This research method is explorative descriptive, includes colony characterization, bacteria mass culture and maceration extraction of bacteria using methanol, carotenoid content calculation, antioxidant and photoprotection activity test, compound preliminary analysis using Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR) and molecular identification of bacteria. The results obtained 2 bacterial isolates derived from the gastropod *Cassidula nucleus* have colored colonies. Based on the calculation of the highest carotenoid content is in the isolate with the code MK.CN.3 amounting to 23.81 µg/g. Antioxidant activity test results from isolate MK.CN.3 showed IC_{50} value of 461 ppm with weak category and photoprotection value with SPF of 6.57 with extra protection category. Based on the analysis of crude extract, the pigment is suspected to contain carotenoids such as astaxanthin and β -carotene. The results of molecular identification showed that isolate MK.CN.3 is a strain of *Isophtericola chiayiensis*.

Keyword : FTIR, Carotenoid, Astaxanthin, β -carotene

Abstrak

Peningkatan radikal bebas akibat radiasi sinar UV berlebih pada kulit menyebabkan kerusakan sel kulit sehat. Penanganan kerusakan kulit yang disebabkan oleh paparan sinar ultraviolet (UV) dapat dilakukan melalui pemanfaatan senyawa bioaktif yang berfungsi sebagai agen fotoproteksi untuk melindungi kulit dari radiasi UV serta memiliki aktivitas antioksidan yang mampu menetralkan radikal bebas. Salah satu bahan alam yang memiliki kemampuan fotoproteksi dan antioksidan adalah pigmen. Salah satu sumber pigmen adalah mikroba laut yang berasosiasi dengan organisme laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas antioksidan dan fotoproteksi bakteri berpigmen asosiasi gastropoda. Sampel gastropoda diperoleh dari ekosistem mangrove Mangkang Semarang dan bakteri diisolasi dengan metode spread plate. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif eksploratif, meliputi karakterisasi koloni, kultur masal bakteri dan ekstraksi bakteri secara maserasi menggunakan pelarut metanol, perhitungan kandungan karotenoid, uji aktivitas antioksidan dan fotoproteksi, analisis pendahuluan senyawa menggunakan Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR) serta identifikasi bakteri asosiasi gastropoda secara molekuler. Hasil penelitian diperoleh 2 isolat bakteri yang berasal dari gastropoda *Cassidula nucleus* memiliki koloni berwarna. Berdasarkan perhitungan kandungan karotenoid tertinggi ada pada isolat dengan kode

MK.CN.3 sebesar 23,81 µg/g. Hasil uji aktivitas antioksidan dari isolat MK.CN.3 menunjukkan nilai IC₅₀ sebesar 461 ppm dengan kategori lemah dan nilai fotoproteksi dengan SPF sebesar 6,57 dengan kategori extra protection. Berdasarkan analisis ekstrak kasar pigmen diduga mengandung karotenoid jenis astaxanthin dan β – carotene. Hasil identifikasi molekuler menunjukkan bahwa isolat MK.CN.3 merupakan bakteri jenis *Isoptericola chiayiensis*.

Kata kunci: FTIR, Karotenoid, Astaxanthin, β-carotene

PENDAHULUAN

Cahaya matahari merupakan salah satu sumber energi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup manusia, tetapi paparan cahaya matahari yang berlebih akan meningkatkan radiasi sinar UV yang dapat menyebabkan kerusakan dan penuaan pada kulit (Nopiyanti & Aisiyah, 2020). Radiasi sinar UV berlebih akan memicu adanya radikal bebas yang dapat mengakibatkan kondisi bernama *oxidative stress* di mana pada kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan sel sehat pada kulit sehingga sel kulit mengalami penuaan (Iskandar *et al.*, 2022). Penanganan kerusakan kulit yang disebabkan oleh paparan sinar ultraviolet (UV) dapat dilakukan melalui pemanfaatan senyawa bioaktif yang berfungsi sebagai agen fotoproteksi untuk melindungi kulit dari radiasi UV serta memiliki aktivitas antioksidan yang mampu menetralkan radikal bebas (Kusumawardany *et al.*, 2023). Salah satu bahan alam yang memiliki kemampuan fotoproteksi dan antioksidan adalah pigmen (Kusmayadi *et al.*, 2021). Pigmen merupakan suatu zat yang memberi kesan warna pada benda berdasarkan responnya terhadap cahaya, baik yang dipantul atau yang diserap. Pigmen dapat ditemukan pada kulit, mata dan bagian tubuh lainnya pada hewan maupun tumbuhan. Selain itu pigmen juga dapat ditemukan pada bakteri dan jamur. Pigmen diketahui memiliki berbagai macam manfaat secara farmakologi (Siddharthan *et al.*, 2020). Biopigmen atau pigmen yang berasal dari makhluk hidup dapat diperoleh dari ekosistem darat maupun ekosistem lautan termasuk didalamnya adalah mikroorganisme (Miranda & Moreno, 2023). Pigmen dari laut merupakan produk yang bernilai tinggi karena kemampuannya sebagai agen antikanker, antibakteri, antioksidan, dan aktivitas sitotoksik yang salah satu sumbernya adalah dari mikroba laut (Kusmayadi *et al.*, 2021).

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang unik dan menyimpan banyak potensi senyawa bioaktif. Kondisi lingkungan yang dinamis dapat mempengaruhi metabolit sekunder dari organisme di dalamnya termasuk gastropoda dan bakteri asosiasinya (Rosari *et al.*, 2024). Gastropoda mangrove yang diperoleh dari ekosistem mangrove mangkang memiliki kemampuan antioksidan (Rahmayani *et al.*, 2013). Selain itu, menurut Saenko *et al.* (2021), terdapat tiga kelas pigmen yang telah ditemukan di cangkang gastropoda yaitu melanin, tetrapiroles dan karotenoid. Namun, Menurut Arbi (2009) pemanfaatan besar-besaran dari suatu biota dinilai bertentangan dengan prinsip konservasi. Tantangan konservasi dalam pemanfaatan gastropoda di alam menjadikannya perlu dilakukan eksplorasi terhadap mikroorganisme yang berasosiasi dengan gastropoda. Bakteri asosiasi dinilai memiliki pigmen yang hampir sama dengan inangnya dan mampu dikultivikasi secara banyak dan dalam waktu yang relatif cepat (Arlita *et al.*, 2013). Berdasarkan penelitian dari Sibero *et al.* (2019) dan Kusmita *et al.* (2023), pigmen karotenoid dari bakteri laut yang berasosiasi dengan karang lunak memiliki kemampuan aktivitas fotoproteksi dan antioksidan. Selain itu, penelitian Abubakar *et al.* (2022) bakteri laut *Paracoccus haeundaensis* yang berasal dari spons menghasilkan pigmen berwarna orange dan memiliki kemampuan antioksidan. Selain itu, menurut Asril *et al.* (2025), pigmen eumelanin dari bakteri *Streptomyces lasalocidi* memiliki potensi sebagai agen fotoproteksi. Penelusuran pigmen dari bakteri sudah banyak dilakukan namun perlu dilakukan eksplorasi lebih terhadap sumber pigmen alami lain salah satunya berasal dari gastropoda laut terutama dari ekosistem mangrove yang dinilai sebagai sumber metabolit sekunder yang unik. Menurut Dewi *et al.* (2017), bakteri berwarna kuning berhasil diisolasi dari tanah mangrove *Rhizopora* sp. yang diduga merupakan pigmen karotenoid yang berpotensi sebagai agen antioksidan.

Berdasarkan penelitian Wijaya *et al.* (2021), bakteri asosiasi gastropoda mangrove *Cassidula nuceus* dengan jenis *Micrococcus* sp. memiliki kemampuan antibakteri terhadap *Bacillus cereus* dan *Escheriachia coli*. Saat ini banyak penelitian mengenai bakteri asosiasi dari gastropoda baik berasal dari ekosistem mangrove (Dewi *et al.*, 2017; Wijaya *et al.*, 2021) maupun ekosistem karang (Bahry *et al.*, 2016; Setyati *et al.*, 2023) namun belum spesifik membahas mengenai bakteri berpigmen asosiasi gastropoda yang memiliki aktivitas antioksidan dan fotoproteksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat bakteri asosiasi gastropoda mangrove *Cassidula nuceus* yang memiliki pigmen dan apakah ekstrak kasar pigmen bakteri tersebut memiliki kemampuan antioksidan dan fotoproteksi.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri asosiasi gastropoda *Cassidula nuceus* yang memiliki koloni berwarna. Pengambilan sampel gastropoda dilakukan di ekosistem mangrove Mangrove Semarang. Isolasi bakteri asosiasi dilakukan dengan melakukan pengenceran pada daging gastropoda yang telah dicuci dengan aquades steril. Pengenceran dilakukan hingga pengenceran 10^{-5} . Hasil pengenceran pada pengenceran 10^{-5} ditanam pada media nutrisi agar dengan metode *spread plate*. Sampel diinkubasi pada suhu ruang dan diamati selama 2 x 24 jam (Mahdiyah *et al.* 2024). Bakteri yang berhasil tumbuh kemudian dilakukan karakterisasi koloni bakteri dan pemurnian. Bakteri yang memiliki pigmen dilakukan kultur massal dan diekstrak pigmennya.

Bakteri asosiasi berpigmen dilakukan kultur pada media *Nutrient Agar*. Bakteri yang tumbuh diambil menggunakan jarum ose dan dimasukkan kedalam *centrifuge tube* yang telah berisi pelarut metanol kemudian di vortex selama 15 menit untuk menghancurkan sel bakteri. Sampel kemudian dilakukan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit hingga terpisah antara sel bakteri dan pelarut. Tahap ini dilakukan berulang hingga warna pelet menjadi pucat (Arlita *et al.*, 2013, Kusmita *et al.*, 2021).

Ekstrak kasar pigmen bakteri dianalisis kandungan karotenoid yang merujuk pada Kusmita *et al.* (2023) dengan menggunakan spektrofotometri pada panjang gelombang 470 nm, hasil absorbansi kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu\text{g carotenoid/g} = \frac{A \times V \text{ (mL)} \times 10^6}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times 100 \times G \text{ (gr)}}$$

Keterangan: A = Absorbansi; $A_{1\text{cm}}^{1\%} = \beta\text{-Carotene Extinction Coefficient}$; V = Total Volume Ekstrak; G = Berat Sampel

Ekstrak kasar pigmen dengan kandungan karotenoid tertinggi dilakukan uji lanjutan aktivitas antioksidan dan aktivitas fotoproteksi. Uji aktivitas antioksidan dilakukan berdasarkan Akbar *et al.* (2018) dengan menggunakan metode DPPH, ekstrak kasar pigmen dilakukan uji pada konsentrasi 125, 250, 500, 1000 ppm. Pengukuran absorbansi DPPH dan sampel uji dilakukan berdasarkan Rabima dan Pangaman *et al.* (2020) dengan menggunakan alat *Elysa reader*. dan kemudian dilakukan perhitungan nilai %inhibisi DPPH dan perhitungan nilai IC_{50} . Rumus perhitungan %Inhibisi adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase inhibisi} = \frac{(\text{Absorbansi blanko} - \text{Absorbansi sampel})}{\text{Absorbansi blanko}} \times 100\%$$

Uji aktivitas fotoproteksi dilakukan pada konsentrasi ekstrak 1000 ppm dengan merujuk pada Kusmita *et al.* (2023) dimana ekstrak kasar pigmen dilakukan analisis absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 290 – 320 nm dengan interval 5 nm. nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dihitung menggunakan persamaan persamaan Mansur dan kategori SPF disesuaikan dengan Mansur *et al.* (1986) dengan rumus:

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times \text{abs}(\lambda)$$

Keterangan: CF = Faktor Koreksi; I = Spektrum Intensitas Matahari; EE = Spektrum Efek Eritema; Abs = Absorbansi Sampel

Aktivitas fotoproteksi juga dilakukan perhitungan nilai %Transmisi erithema (%Te) dan %Transmisi pigmentasi (%Tp) sesuai dengan Abdassah *et al.*, (2015) dimana ekstrak dilakukan diuji dengan spektrofotometer UV-VIs pada panjang gelombang 292 – 317 nm dan kemudian dilakukan perhitungan nilai %Te dan %Tp. Kategori %Te dan %Tp disesuaikan dengan Abdassah *et al.* (2015); Kusmita *et al.* (2023). Nilai Absorbansi (A) yang muncul pada setiap panjang gelombang dirubah menjadi nilai Transmisi (T) dengan rumus:

$$A = -\log T$$

Kemudian rumus dari Transmisi Eritema (Te) dan Transmisi Pigmentasi (Tp) sebagai berikut

$$\begin{array}{l} \text{Transmisi Eritema (Te)} \\ T_e = T \times F_e \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Transmisi Pigmentasi (Tp)} \\ T_p = T \times F_p \end{array}$$

Nilai Fe dan nilai Fp secara berurutan merupakan nilai *Flux of Erythema* dan *Flux of Pigmentation*. Nilai % Transmisi Eritema (%Te) dan Transmisi pigmentasi (%Tp) dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{array}{l} \text{\%Transmisi Eritema (\%Te)} \\ \%Te = \frac{\sum_{317}^{292} (T \times Fe)}{\sum_{317}^{292} Fe} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{\%Transmisi Pigmentasi (\%Tp)} \\ \%Tp = \frac{\sum_{372}^{332} (T \times Fp)}{\sum_{372}^{332} Fp} \end{array}$$

Ekstrak kasar pigmen dilakukan identifikasi pendahuluan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi dari ekstrak kasar pigmen bakteri. Analisis menggunakan alat FTIR *Agilent Cary 360* yang dilengkapi dengan ATR platinum diamond sampling stage module ZnSe. Spektrum diukur pada panjang gelombang 4000 – 650 cm^{-1} (Irnawati *et al.*, 2021; Kusmita *et al.*, 2023).

Bakteri asosiasi yang memiliki pigmen dengan aktivitas antioksidan dan fotoproteksi dilakukan identifikasi secara molekuler. Ekstraksi DNA mengacu pada Sari *et al.* (2021) dengan menggunakan chelex 10%. Amplifikasi PCR dilakukan dengan metode standar gen 16S rRNA PCR. Pengaturan perlakuan dalam PCR bakteri laut dilakukan dengan merujuk pada Susilowati *et al.* (2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil isolasi bakteri yang berasal gastropoda *Cassidula nucleus* diperoleh jumlah isolat bakteri asosiasi sebanyak 11 isolat (Tabel 1). Gastropoda *C. nucleus* merupakan gastropoda yang ditemukan di substrat lumpur mangrove. Warna dari cangkang gastropoda ini biasanya coklat kehitaman dengan corak putih melingkar (Rupmana *et al.*, 2021). Menurut Oktavia *et al.* (2023), gastropoda *C. nucleus* bergerak naik turun mengikuti fluktuasi pasang surut mangrove dan memperoleh makanan dari daun-daun mangrove yang gugur.

Menurut Wijaya *et al.* (2021), Bakteri asosiasi gastropoda *C. nucleus* yang berasal dari perairan mangrove mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen *B. cereus* dan *E. coli*. Menurut Ameen *et al.* (2020), mikroba laut diketahui memiliki produk metabolit sekunder yang potensial untuk dikembangkan salah satunya pada bidang farmakologi, contohnya sebagai antioksidan,

antikanker, antibakteri, dan lainnya. Sebagai contoh menurut Bahry *et al.* (2016), mikroba laut yang berasal dari gastropoda memiliki kemampuan antibakteri spektrum luas terhadap bakteri patogen Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) dan *E. coli*. Selain itu, menurut Kusmita *et al.* (2023), bakteri jenis *Virgibacillus salarius* memiliki kemampuan antioksidan dengan nilai IC₅₀ sebesar 506 ppm dan nilai fotoproteksi sebesar 6.04.

Hasil karakterisasi morfologi koloni bakteri diperoleh 2 isolat bakteri dengan kode MK.CN.3 dan MK.CN.6 yang memiliki koloni berwarna orange yang diduga adalah pigmen karotenoid. Setelah dilakukan kultur massal sebanyak 100 petri da diperoleh berat ekstrak kering isolat bakteri asosiasi berpigmen berturut adalah MK.CN.3 sebesar 34,6 mg dan MK.CN.6 sebesar 35,5 mg. Data disajikan pada Tabel 2. Menurut Joshi *et al.* (2023), bakteri mempunyai kemampuan untuk memproduksi pigmen karotenoid karena karotenoid pada bakteri memiliki peran penting dalam adaptasi bakteri terhadap lingkungannya. Selain itu, karotenoid yang diproduksi oleh bakteri berperan sebagai pelindung sel bakteri dari sinar UV.

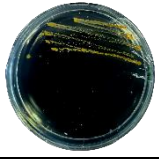
Berdasarkan hasil perhitungan kandungan karotenoid yang terdapat dalam pigmen diperoleh hasil bahwa ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi MK.CN.3 memiliki kandungan karotenoid yang lebih tinggi (Gambar 1). Penentuan kadar karotenoid dari ekstrak kasar pigmen bakteri ini dilakukan dengan menggunakan koefisien standar β -carotene. Menurut de Carvalho *et al.* (2012), penentuan total kadar karotenoid menggunakan koefisien β -carotene dikarenakan paling umum dan representatif serta diasumsikan bahwa β -carotene merupakan karotenoid yang paling melimpah secara alami.

Ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi MK.CN.3 diuji aktivitas antioksidannya. Hasil pada konsentrasi 1000 ppm ekstrak kasar pigmen bakteri mampu meluruhkan DPPH sebesar 69,14% dengan nilai IC₅₀ sebesar 461 ppm (Tabel 3). Menurut Hasanuddin *et al.* (2023), IC₅₀ merupakan konsentrasi dari suatu bahan kimia atau ekstrak yang dibutuhkan untuk menangkap radikal DPPH sebanyak 50%.

Tabel 1. Sampel Gastropoda dan Jumlah Isolat Bakteri

No.	Kode Sampel	Spesies Moluska	Gambar Sampel	Isolat Bakteri yang diisolasi
1	MK.CN	<i>Cassidula nucleus</i> (Gmelin, 1791)		11
		(Dharma, 2005)		

Tabel 2. Isolat Bakteri Asosiasi Berpigmen dan Hasil Ekstrak Kasar Pigmen Bakteri Asosiasi

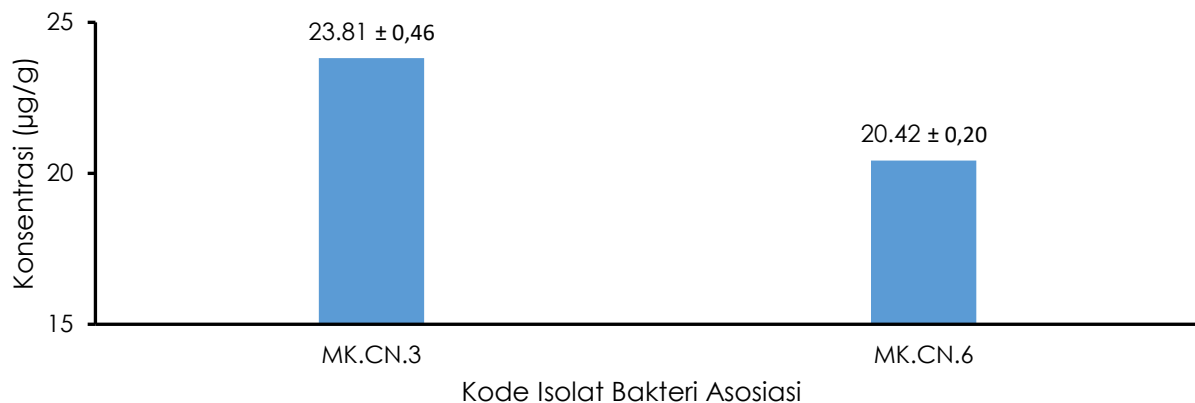
No.	Kode Isolat	Spesies Host	Warna Koloni	Gambar Koloni	Berat Kering Ekstrak (mg)	Foto Ekstrak
1	MK.CN.3	<i>Cassidula Nucleus</i>	Orange		34,6	
2	MK.CN.6	<i>Cassidula Nucleus</i>	Orange		35,5	

Tabel 3. Hasil Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kasar Bakteri Asosiasi Gastropoda

Kode Isolat	Konsentrasi (ppm)	%Inhibisi	IC ₅₀ (ppm)	Keterangan
MK.CN.3	125	25,62	461	Lemah
	250	29,99		
	500	51,87		
	1000	69,14		

Tabel 4. Hasil Uji Fotoproteksi Ekstrak Bakteri Asosiasi MK.CN.3

No.	Uji Fotoproteksi	Hasil	Kategori
1	<i>Sun Protection Factor</i>	6,57	<i>Extra Protection</i>
2	%Transmisi eritema	20,81%	-
3	%Transmisi pigmentasi	42,69%	<i>UV A Extra Protection</i>

**Gambar 1.** Grafik Total Kandungan Karotenoid Ekstrak Bakteri Asosiasi

Pendugaan adanya kandungan pigmen karotenoid dalam ekstrak kasar pigmen bakteri pada penelitian ini memperkuat adanya potensi antioksidan dari ekstrak bakteri asosiasi. Hal ini didasarkan adanya kandungan karotenoid dengan nilai 23,81 µg/g. Menurut Sedjati *et al.* (2018), senyawa karotenoid mampu menetralkan molekul oksigen singlet dan radikal peroksil. Selain itu, senyawa karotenoid diduga mampu meredam oksigen singlet melalui ikatan konjugasi C=C pada rantai karbon kerangka dasar poluene. Karotenoid mampu beraksi dengan radikal peroksi dan membentuk radikal karotenoid peroksil yang kemudian berubah menjadi karotenoid peroksida yang bersifat kurang radikal dan mudah terurai, sehingga tidak berbahaya bagi sel hidup. Berdasarkan hasil penelitian dari Kusmita *et al.* (2023), ekstrak pigmen karotenoid yang berasal dari bakteri simbiosis karang lunak memiliki nilai IC₅₀ sebesar 506 ppm yang lebih tinggi dari pada nilai IC₅₀ dari standar karotenoid β -carotene dengan nilai 510 ppm. Nilai yang diperoleh pada penelitian kali ini menunjukkan hasil yang lebih tinggi dari referensi tersebut hal ini dapat diduga akibat adanya karotenoid atau senyawa lainnya pada ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi yang mempengaruhi nilai dari IC₅₀. Penelitian aktivitas antioksidan dari bakteri oleh Pudjas *et al.* (2022), menunjukkan potensi antioksidan bakteri dengan nilai IC₅₀ sebesar 51 – 54 mg/ml atau berkisar antara 51.000 – 54.000 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi gastropoda memiliki potensi sebagai antioksidan alami. Uji fotoproteksi ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi dilakukan pada konsentrasi 1000 ppm dimana konsentrasi ini memiliki aktivitas %inhibisi antioksidan terkuat. Hasil uji fotoproteksi disajikan pada Tabel 4.

Perhitungan nilai SPF yang dilakukan berdasarkan persamaan Mansur menunjukkan bahwa ekstrak isolat MK.CN.3 pada konsentrasi 1000 ppm mampu memberikan fotoproteksi dengan kategori extra protection dan nilai sebesar 6,57. Berdasarkan Caferri *et al.* (2022), potensi karotenoid dalam suatu senyawa untuk fotoproteksi adalah dengan menyerap cahaya pada spektrum UV A, sehingga mengurangi jumlah sinar UV yang menembus kulit. Berbeda dengan senyawa Titanium dioksida dan avobenzone yang memblokir UV secara langsung. Selain itu, karotenoid mampu menyerap energi cahaya untuk diubah menjadi panas dengan mengubah bentuk dari strukturnya. Menurut Susanti dan Lestrari (2019), nilai SPF yang diperoleh menggambarkan berapa kali perlindungan kulit yang ditingkatkan. Seperti contohnya nilai SPF ekstrak bakteri MK.CN.3 yaitu 6,57 sehingga jika diaplikasikan untuk perlindungan dari sinar ultraviolet maka akan meningkatkan daya tahan alami kulit sebanyak 6,57 kali. Perhitungan nilai persentasi Erithema (%Te) menunjukkan bahwa ekstrak bakteri asosiasi MK.CN.3 konsentrasi 1000 ppm mampu menghambat penetrasi sinar UV B ke kulit sehingga tertransmisi sebanyak 20,81% nilai ini mendekati nilai kategori *tanning*. Namun menurut Menurut Whenny *et al.* (2015), Nilai %Transimisi eritema diatas 20% menunjukkan bahwa potensi ekstrak atau senyawa mampu menghambat penetrasi UV B namun masih dapat menyebabkan terjadinya kemerahan pada kulit. Hasil perhitungan nilai %Tp menunjukkan bahwa ekstrak bakteri MK.CN.3 pada konsentrasi yang sama menunjukkan nilai sebesar 42,69% dan masuk dalam kategori UV A *extra protection*. Menurut Susanti dan Lestrari (2019), transmisi pigmentasi merupakan gambaran suatu senyawa dapat memproteksi kulit dari sinar (UV A) yang dapat menyebabkan kulit menjadi gelap.

Ekstrak kasar pigmen bakteri MK.CN.3 dilakukan uji pendahuluan identifikasi senyawa dengan menggunakan metode FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada ekstrak bakteri asosiasi. Menurut Kombongkila *et al.* (2024), prinsip kerja FTIR adalah mengidentifikasi senyawa, mendeteksi gugus fungsi, dan menganalisis campuran dan sampel yang dianalisis. FTIR pada riset kualitatif dimanfaatkan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsional yang terkandung dalam suatu senyawa. Hasil uji FTIR diperoleh terdapat 8 puncak serapan gelombang dengan nilai bilangan gelombang disajikan pada Gambar 2. Hasil identifikasi gugus fungsi ekstrak isolat MK.CN.3 dari nilai bilangan gelombang diperoleh hasil berdasarkan referensi dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan penelitian dari Trivedi *et al.* (2017) yang mengidentifikasi ekstrak bakteri *Bacillus subtilis* memiliki grafik yang sama dengan standar β -carotene dengan hasil puncak bilangan FTIR pada rentang $1424 - 1426 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus CH_2/CH_3 (Bending). Prediksi gugus O - H yang muncul diindikasikan merupakan gugus O - H yang berasal dari pelarut metanol yang digunakan. Gugus lainnya yang sesuai ada dalam penelitian ini sesuai dengan standar adalah adanya gugus C - H pada panjang gelombang 1020 cm^{-1} . Sehingga diprediksi bahwa ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi gastropoda pada penelitian ini mengandung karotenoid jenis β -carotene. Prediksi lainnya kandungan senyawa karotenoid yang ada pada ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi gastropoda adalah adanya Astaxanthin. Berdasarkan penelitian dari Dai *et al.* (2020) dan Rodriguez-de Leon *et al.* (2022), hasil analisa FTIR pada astaxanthin seperti pada karotenoid lainnya namun terdapat puncak pada bilangan gelombang di 1651 cm^{-1} dan 1656 cm^{-1} . Hasil FTIR penelitian ini menunjukkan munculnya puncak pada panjang gelombang 1623 cm^{-1} , $1653 - 1654 \text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus ikatan rangkap C = C ataupun C = O (keton). Menurut Brotosudarmo *et al.* (2020) dan Sun *et al.* (2023), Astaxanthin merupakan karotenoid keton yang larut dalam lemak yang mengandung gugus hidroksil dan keton. Struktur unik ini yang memerankan fungsi penting untuk menetralkan radikal bebas.

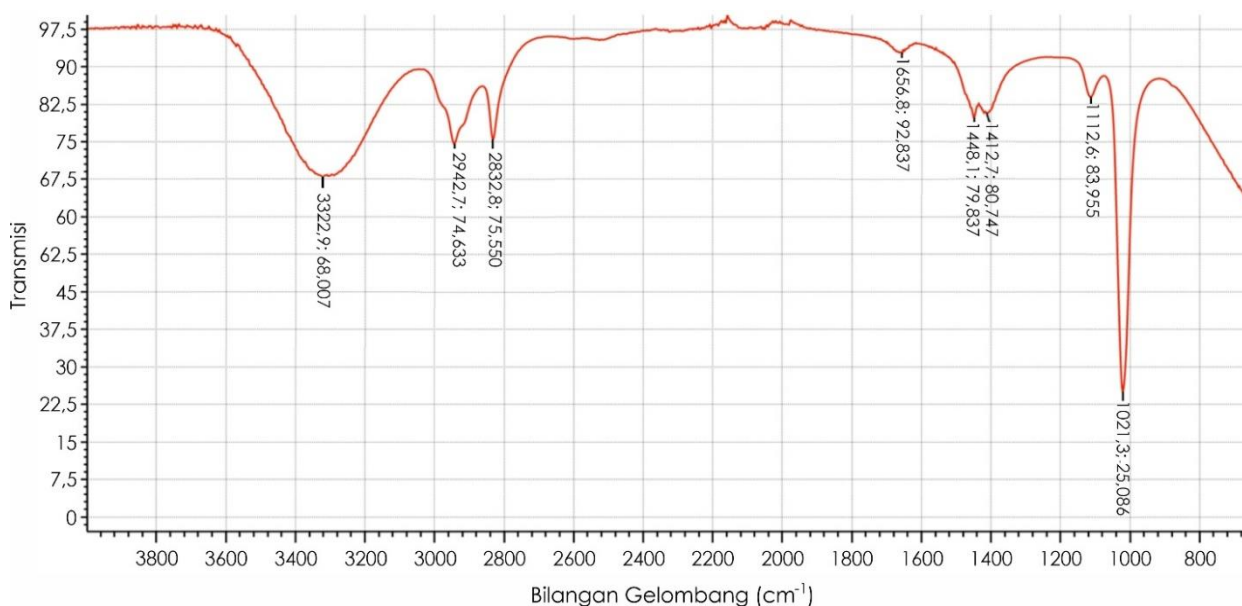
Bakteri asosiasi MK.CN.3 diidentifikasi secara molekuler. Proses ekstraksi DNA dilakukan dengan menggunakan chelex 10%. Menurut Sari *et al.* (2021), metode ini berguna untuk mempersingkat kinerja dalam pemisahan dan tergolong cepat sehingga praktis dan ekonomis. Selain karena kecepatannya metode ini dinilai mampu mengurangi kemungkinan adanya kontaminan. Berdasarkan hasil uji identifikasi secara molekuler menunjukkan bahwa bakteri asosiasi dengan kode isolat MK.CN.3 memiliki kekerabatan dengan bakteri spesies *Isoptericola chiayiensis* dengan %*identification* sebesar 99,14% (Tabel 6). Menurut Sahaba *et al.* (2021), nilai homologi yang lebih

besar dari 99% menunjukkan keterwakilan kesamaan pada tingkat spesies. Selain itu, hasil dari pohon filogenetik menunjukkan bahwa nilai *bootstrap* dengan nilai 99. Menurut Anafarida & Badruzsaufari (2020), *bootstrap* dengan rentang nilai 70 – 100 memiliki peluang kecil terjadinya perubahan pada klad dan nilai kurang dari 70 menunjukkan peluang besar pada perubahan susunan klad. Besarnya nilai *bootstrap* serta letak garis yang sejajar menunjukkan kekerabatan dekat.

Bakteri *Isoptericola chiayiensis* merupakan bakteri gram positif dan bersifat aerobik. Bakteri ini merupakan salah satu spesies dari filum aktinobakteria. Aktinobakteri diketahui memiliki kemampuan dalam memproduksi berbagai macam metabolit sekunder dengan kemampuan sebagai antibakteri, insektisidal, dan kemampuan bioaktif lainnya. Bakteri ini pertama kali diisolasi dari sedimen mangrove yang berasal dari Chiayi, Taiwan (Cheng *et al.*, 2021). Bakteri *I. chiayiensis* ini memiliki miselia dengan warna koloni adalah orange muda hingga kuning. Bakteri jenis ini memiliki kemampuan untuk menghidrolisis adenine, aesculin, hippurate, starch, dan mampu untuk melakukan peptonisasi susu dimana bakteri ini mampu menghasilkan enzim untuk memecah senyawa kompleks menjadi lebih sederhana. Bakteri ini dinilai memiliki kemampuan menghasilkan

Tabel 5. Tabel Analisis Spektrum Pengujian FTIR Senyawa Ekstrak Bakteri Asosiasi MK.CN.3

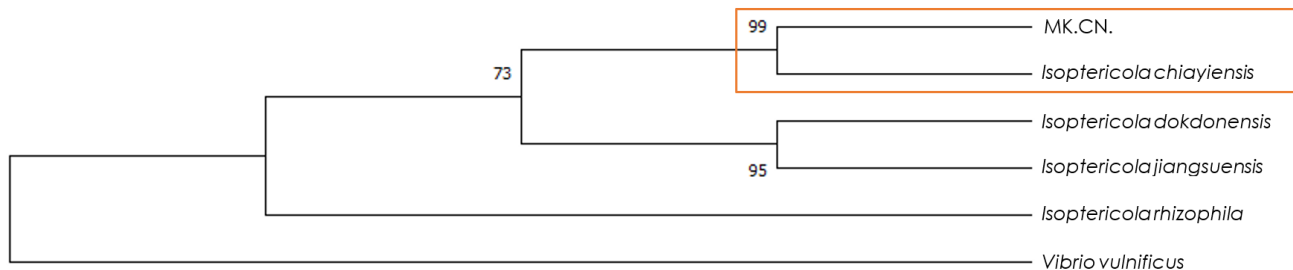
Peak	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Vibrational Mode	Referensi
1	1021,3	C – O	<i>Stretching</i>	Bose <i>et al.</i> , 2023
2	1112,6	C – O	<i>Stretching</i>	Sitzia <i>et al.</i> , 2024
3	1412,7	C – H	<i>Bending</i>	Barathiraja <i>et al.</i> , 2016
4	1448,1	CH ₂ / CH ₃	<i>Bending</i>	Kustrin <i>et al.</i> , 2020
5	1656,8	C = C	<i>Stretching</i>	Doley and Barthakur, 2022;
		C = O		Revathy <i>et al.</i> , 2015
6	2832,8	C – H	<i>Stretching</i>	Revathy <i>et al.</i> , 2015
7	2942,7	C – H	<i>Stretching</i>	Revathy <i>et al.</i> , 2015
8	3322,9	O – H	<i>Stretching</i>	Revathy <i>et al.</i> , 2015



Gambar 2. Spektrum FTIR Ekstrak Kasar Pigmen Bakteri Asosiasi MK.CN.3

Tabel 6. Persen Identifikasi dan Hasil identifikasi pada BLAST

No.	Kode Isolat	Hasil Identifikasi	%Ident	Query Cover	Accession Number
1	MK.CN.3	<i>Isoptericola chiayiensis</i>	99,14%	100%	NR_116696.1

**Gambar 3.** Pohon Filogenetik Bakteri Asosiasi Gastropoda MK.CN.3

enzim protease namun tidak memiliki kemampuan untuk memecah kasein. Bakteri *I. chiayiensis* mampu tumbuh dalam suhu 15 – 40°C dengan suhu pertumbuhan optimal pada 30°C. Bakteri ini mampu mentoleransi konsentrasi NaCl 12% yang ada di media kultur (Tseng *et al.*, 2011). Berdasarkan penelitian dari Cheng *et al.* (2021), bakteri yang berasal dari ekosistem mangrove memiliki metabolit yang unik termasuk kelompok senyawa polifenol yang diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis seperti antioksidan, antiinflamasi, dan antimikroba.

KESIMPULAN

Ekstrak kasar pigmen bakteri asosiasi gastropoda mangrove *C. nucleus* pada penelitian ini memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC_{50} sebesar 461 ppm dengan kategori lemah dan aktivitas fotoproteksi dengan nilai SPF sebesar 6,57 dengan kategori *extra protection*. Nilai %Te dan %Tp menunjukkan ekstrak kasar pigmen mampu memberikan perlindungan ekstra pada UV A. Berdasarkan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR diduga ekstrak bakteri kasar pigmen bakteri asosiasi gastropoda mengandung golongan pigmen karotenoid jenis astaxanthin dan β -carotene. Bakteri asosiasi gastropoda MK.CN.3 yang menghasilkan pigmen adalah jenis *Isoptericola chiayiensis*. Pengembangan lanjutan perlu dilakukan pada proses kultur masal dan ekstraksi pigmen bakteri menggunakan pelarut lainnya mengingat potensi senyawa karotenoid yang diduga terkandung dalam bakteri asosiasi sebagai agen antioksidan dan fotoprotektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat menghargai kontribusi seluruh partisipan serta dukungan pendanaan dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) di bawah Kementerian Keuangan Republik Indonesia, yang telah memberikan beasiswa kepada penulis pertama dan memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, M., Aryani, R., Surachman, E., & Muchtaridi, M. (2015). In Vitro Assessment of Effectiveness and Photostability Avobenzone in Cream Formulations by Combination Ethyl Ascorbic Acid and Alpha Tocopherol Acetate, *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(6), 070-074. doi: 10.7324/JAPS.2015.50611.
- Abubakar, H., Astuti, R.I., Listyowati, S., Batubara, I., & Wahyudi, A.T. (2022). An Orange Pigment from the Marine Bacterium *Paracoccus haeundaensis* SAB E11 as a Prospective Source of Natural Antioxidants. *Biodiversitas*, 23(9), 4730 – 4737. doi: 10.13057/biodiv/d230.

- Akbar, M.R., Pramesti, R., & Ridlo, A. (2018) Aktivitas Antioksidan Rumput Laut *Acanthophora muscoides* (Linnaeus) Bory dari Pantai Krakal Gunung Kidul Yogyakarta. *Journal of Marine Research*, 7(1), 9-18. doi: 10.14710/jmr.v7i1.25882.
- Ameen, F., AlNadhari, S., & Al-Homaidan, A.A. (2020). Marine Microorganisms as an Untapped Source of Bioactive Compounds, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 224-231. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.09.052.
- Anafarida, O. & Badruzsaufari. (2020). Analisis Filogenetik Mangga (*Mangifera* spp.) berdasarkan Gen 5.8S rRNA. *Ziraa'ah*, 45(2), 120–126. doi: 10.31602/zmip.v45i2.3001.
- Arbi, U.Y., 2009, Beberapa Jenis Moluska yang Dilindungi di Indonesia. *Oseana*, 34(4), 25-33.
- Arlita, N.R., Radjasa, O.K., & Santoso, A. (2013) Identifikasi Pigmen Karotenoid pada Bakteri Simbion Rumput Laut *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh. *Journal of Marine Research*, 2(3), 68-77. doi: 10.14710/jmr.v2i3.3134.
- Asril, M., Astuti, R.I., Rusmana, I., & Wahyudi, A.T. (2025). Photoprotection and Antioxidant Activity of Eumelanin from *Streptomyces lasalocidi* NTB 42 and Its Photoprotective Effects on *Schizosaccharomyces pombe* ARC039. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 262, 1-10. doi : 10.1016/j.jphotobiol.2024.113085.
- Bahry, M.S., Pringgenies, D., & Trianto, A. (2016) Molecular Identification of Marine Symbiont Bacteria of Gastropods from the Waters of the Krakal Coast Yogyakarta and Its Potential as a Multi-Drug Resistant (MDR) Antibacterial Agent. *Proceeding of Internasional Symposium on Applied Chemistry (ISAC) 2016, Tangerang, Indonesia, 3 – 6 October 2016*. doi: 10.1063/1.4973146.
- Barathiraja, S., Manivasagan, P., Bui, N.Q., Oh, Y., Lim, I.G., Park, S., & Oh, J. (2016). Cytotoxic Induction and Photoacoustic Imaging of Breast Cancer Cells Using Astaxanthin-Reduced Gold Nanoparticles. *Nanomaterials*, 78(6), 1-11. doi: 10.3390/nano6040078.
- Bose, V.B.S.C., Balaganesan, V., Govindaraj, G., & Veerichetty, V. (2023). Cellular Antioxidant and Cytotoxic Activity of Astaxanthin and Ellagic Acid on UV Irradiated Skin Melanoma Cells and Gel Formulation. *Materials Today: Proceedings*. doi: 10.1016/j.matpr.2023.08.209.
- Brotsudarmo, T.H.P., Limantara, L., Setiyono, E., & Heriyanto. (2020) Structures of Astaxanthin and Their Consequences for Therapeutic Application. *International Journal of Food Science*, 2020, 2156582. doi: 10.1155/2020/2156582.
- Cafferri, R., Guardini, Z., Bassi, R., & Dall'Osto, L. (2022). Chapter Two – Assessing Photoprotective Functions of Carotenoids in Photosynthetic System of Plants and Green Algae, *Methods in Enzymology*, 674, 53-84. doi: 10.1016/bs.mie.2022.04.006.
- Dai, M., Li, C., Yang, Z., Sui, Z., Li, J., Dong, P., & Liang, X. (2020) The Astaxanthin Aggregation Pattern Greatly Influences Its Antioxidant Activity: A Comparative Study in CaCo-2 Cells. *Antioxidants*, 126(9), 1-13. doi: 10.3390/antiox9020126.
- de Carvalho, L.M. J., Gomes, P.B., Godoy, R.L.D., Pacheco, S., do Monte, P.H.F., de Carvalho, J.L.V., Nutti, M.R., Neves, A.C.L., Vieira, A.C.R.A., & Ramos, S.R.R. (2012) Total Carotenoid Content, α -carotene and β -carotene, of Landrace Pumpkins (*Curcubita moschata* Duch): A Preliminary Study. *Food Research International*, 47, 337-340. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.040.
- Dewi, A.K., Meylina, L., & Rusli, R. (2017). Isolasi Bakteri dari Tanah Mangrove *Rhizopora* sp. di Kota Bontang, *Proceeding of the 5th Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, Samarinda, Indonesia, 23 – 24 April 2017.
- Doley, R. & Barthakur, M. (2022) Biodegradation of Monoaromatic Hydrocarbons Toluene and Xylene Through Native Bacterial Strain *Bacillus subtilis* RD20, *Research Square*. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1974378/v2.
- Hasanuddin, A.R.P., Yusron, Islawati, & Artati, 2023, Analisis Kadar Antioksidan pada Ekstrak Daun Binahong Hijau *Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 8(2), 66-74.
- Irnawati, I., Riyanto, S., Martono, S., & Rohman, A. (2021). The Employment of FTIR Spectroscopy and Chemometrics for the Classification and Prediction of Antioxidant Activities of Pumpkin Seed Oils from Different Origins. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 11(5), 100-107. doi: 10.7324/JAPS.2021.110514.
- Iskandar, B., Tartilla, R., Lukman, A., Leny, & Surboyo, M.D.C. (2022) Uji Aktivitas Anti-aging Mikroemulsi Minyak Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.). *Majalah Farmasetika*, 7(1), 52-64.
- Joshi, K., Kumar, P., & Kataria, R. (2023). Microbial Carotenoid Production and Their Potential Applications as Antioxidants: A Current Update. *Process Biochemistry*, 128, 190-205. doi: 10.1016/j.procbio.2023.02.020.

- Kombongkila, O., Taunaumang, H., & Tuminomor, F. (2024) Analisis Struktur Film Tipis Disperse Orange-3 Hasil FTIR. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 5(1), 45-50. doi: 10.53682/fista.v5i1.305.
- Kusmayadi, A., Leong, Y.K., Yen, H.W., Huang, C.Y., & Chang, J.S. (2021). Microalgae as Sustainable Food and Feed Sources for Animals and Humans – Biotechnological and Environmental Aspects. *Chemosphere*, 271, 1-9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129800.
- Kusmita, L., Edi, A.N.P., Franyoto, Y.D., Mutmainah, Haryanti, S., & Nurcahyanti, A.D.R. (2023) Sun Protection and Antibacterial Activities of Carotenoids from the Soft Coral *Sinularia* sp. Symbiotic Bacteria from Panjang Island, North Java Sea. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31, 1-10. doi: 10.1016/j.jsps.2023.06.013.
- Kusmita, L., Nuryadi, H., Widyananto, P.A., Muchlissin, S.I., Sabdono, A., Trianto, A., & Radjasa, O.K. (2021) Bioactivity of Carotenoid Produced by Soft Coral Symbiotic Microorganisms from Panjang and Karimunjawa Island, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(2), 732-740. doi: 10.13057/biodiv/d220226.
- Kustrin, S.A., Ristivojevic, P., Gegechori, V., Litvinova, T.M., & Morton, D.W. (2020). Essential Oil Quality and Purity Evaluation via FT-IR Spectroscopy and Pattern Recognition Techniques. *Applied Sciences*, 10(20), 7294-7306. doi: 10.3390/app10207294.
- Kusumawardany, S.F., Utami, N., & Saryanti, D. (2023). Fotoproteksi dan Aktivitas Antioksidan Nanoenkapsulasi Ekstrak Etanol Buah Kersen (*Muntingia calabura* L.). *Majalah Farmasi dan Farmakologi*, 27(3), 133-139. doi: 10.20956/mff.v27i3.24892.
- Mahdiyah, D., Dharmawan, M.R., & Noval (2024). Isolation and Identification of Marine Bacteria in Raja Ampat Islands West Papua Producing Antibacterial Against *Salmonella typhi* and *Staphylococcus aureus*. *Borneo Journal of Pharmacy*, 7(4), 395-403. doi: 10.33084/bjop.v7i4.3908.
- Mansur, J.S., Breder, M.N.R., Mansur, M.C.A., & Azulay, R.D. (1986). Determinacao Do Fator De Protecao Solar Por Espectrofotometria. *An Bras Dermatol Rio de Jenairo*, 61(3), 121-124.
- Miranda, L.A.M. & Moreno, M.I., 2023, An Extensive Review of Marine Pigment: Sources, Biotechnological Applications, and Sustainability. *Aquatic Sciences*, 85(68), 1-21. doi: 10.1007/s00027-023-00966-8.
- Nopiyanti, V. & Aisiyah, S. (2020). Uji Penentuan Nilai SPF (Sun Protection Factor) Fraksi Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) sebagai Zat Aktif Tabir Surya. *Journal of Pharmacy*, 9(1), 19-26.
- Oktavia, Warsidah, Safitri, I., Sofiana, M.S.J., Apriansyah, & Nurrahman, Y A. (2023). Nutritional Value of Gastropod *Cassidula* from the Mangrove Area of Desa Bakau, Sambas Regency, West Kalimantan. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(1), 124-132. doi: 10.29303/jbt.v23i1.4511.
- Pudjas, N.T.G., Mubarik, N.R., Astuti, R.I., & Sudirman, L.I. (2022). Antioxidant Activity of Endophytic Bacteria Derived from *Hoya multiflora* Blume Plant and Their Cellular Activities on *Schizosaccharomyces pombe*. *Hayati Journal of Bioscience*, 29(2), 214-221. doi: 10.4308/hjb.29.2.214-221.
- Rabima & Pangaman, S.D. (2020) Formulasi dan Uji Aktivitas Antioksidan dari Sediaan Masker Peel-off Ekstrak Umbi Wortel Varietas Chantenay (*Daucus carota* L.). *Indonesia Natural Research Pharmaceutical Journal*, 5(2), 135-148. doi: 10.52447/inspj.v5i2.1767.
- Revathy, T., Jayasri, M.A., & Suthindhiran, K. (2015). Biodegradation of PAHs by *Burkholderia* sp. VITRSB1 Isolated from Marine Sediments. *Hindawi Publishing Corporation Scientifica*, 2015(1), 867586. doi: 10.1155/2015/867586.
- Rodriguez-deLeon, E., Bah, M., Baez, J.E., Hernandez-Sierra, M.T., Moreno, K.J., Nurez-Vilchis, A., Bonilla-Cruz, J., & Shea, K.J. (2022) Sustainable Xanthophylls-Containing Poly(3-caprolactone)s: Synthesis, Characterization, and Use in Green Lubricants. *Royal Society of Chemistry*, 12, 30851-30859. doi: 10.1039/d2ra04502h.
- Rosari, A., Sabdaningsih, A., Ayuningrum, D., & Jati, O.E. (2024) Optimasi Konsentrasi Primer dan Suhu Annealing Deteksi Gen PKS-I pada Bakteri Asosiasi Mangrove *Avicennia marina* asal Pantai Tirang, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 8(2), 123-129. doi: 10.14710/jpl.2024.66027.
- Rupmana, D., Anwari, M.S., & Dirhamsyah, M. (2021). Identifikasi Jenis Gastropoda di Hutan Mangrove Desa Sutera Kecamatan Sukadan Kabupaten Kayong Utara. *Jurnal Hutan Lestari*, 9(4), 606-618. doi: 10.26418/jhl.v9i4.44481.
- Saenko, S.V. & Schilthuizen, M. (2020). Evo-devo of Shell Colour in Gastropods and Bivalves. *ScienceDirect: Genetics & Development*, 69, 1-5. doi: 10.1016/j.gde.2020.11.009.

- Sari, F., Widyorini, N., & Sabdaningsih, A. (2021). Isolasi dan Identifikasi dengan Gen 16S rRNA dari Bakteri Asosiasi Spons Kelas Demospongiae di Perairan Tulamben Bali. *Jurnal Pasir Laut*, 5(2), 110-118. doi: 10.14710/jpl.2021.49558.
- Sedjati, S., Supriyantini, E., Ridlo, A., Soenardjo, N., & Santi, V.Y. (2018). Kandungan Pigmen, Total Fenolik dan Aktivitas Antioksidan *Sargassum* sp. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2), 137-144. doi: 10.14710/jkt.v21i2.3329.
- Setyati, W.A., Pringgenies, D., Soenardjo, N., & Pramesti, R. (2023). Enzyme-producing Symbiotic Bateria in Gastropods and Bivalves Molluscs: Candidates for Bioindustry Materials, *Biodiversitas*, 24(1), 20–25. doi: 10.13057/biodiv/d240103.
- Sibero, M.T., Bachtiarini, T.U., Trianto, A., Lupita, A.H., Sari, D.P., Igarashi, Y., Harunari, E., Sharma, A.R., Radjasa, O.K., & Sabdono, A. (2019) Characterization of a Yellow Pigmented Coral-Associated Bacterium Exhibiting Anti-Bacterial Activity Against Multidrug-Resistant (MDR) Organism. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45, 81–87. doi: 10.1016/j.ejar.2018.11.007.
- Siddharthan, N., Sandhiya, R., & Hemalatha, N. (2020). Extraction and Characterization of Antibacterial Pigment from *Roseomonas gilardii* YP1 Strain in Yercaud Soil. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 13(3), 116-120. doi: 10.22159/ajpcr.2020.v13i3.3 6580.
- Sitzia, F., Lisci, C., Dias, L., Arantes, S. M., & Caldeira, A.T. (2024). Prospection of the Red Biological Patinas Influencing the Urban Scenery Architecture in Portugese Territory. *Heritage*, 7(12), 7236-7254. doi: 10.3390/heritage7120334.
- Susanti, E. & Lestari, S. (2019). Uji Aktivitas Tabir Surya Ekstrak Etanol Tumbuhan Sembung Rambat (*Mikania micrantha* Kunth) secara In Vitro. *Jurnal Penelitian Farmasi Indonesia*, 7(2), 39-42.
- Susilowati, R., Sabdono, A., & Widowati, I. (2015). Isolation and Characterization of Bacteria Associated with Brown Algae *Sargassum* spp. from Panjang Island and their Antibacterial Activities. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 240–246. doi: 10.1016/j.proenv.2015.01.036.
- Trivedi, N., Tandon, S., & Dubey, A. (2017). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Profiling of Red Pigment Produced by *Bacillus subtilis* PD5. *African Journal of Biotechnology*, 16(27), 1507-1512. doi: 10.5897/AJB2017.15959.
- Whenny, Rusli, R., & Rijai, L. (2015). Aktiivitas Tabir Surya Ekstrak Daun Cempedak (*Artocarpus champeden* Spreng), *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 1(4), 154-158. doi: 10.25026/jsk.v1i4.33.
- Wijaya, P.A., Pringgenies, D., & Yudiati, E. (2021). Antibacteria Activity of Gastropod Association Bacteria from Mangrove Ecosystem Against *Bacillus cereus* and *Escherichia coli* and It's Potency of Application for Belanak Fish (*Mugil subviridis*). *Journal of Fisheries and Marine Science*, 5(1), 15-21. doi: 10.21776/ub.jfmr.2021.005.01.3.