

PIGMEN MELANIN AKTINOMISET YANG BERPOTENSI SEBAGAI ANTIOKSIDAN

MAULIDA AQLINIA



PROGRAM STUDI MIKROBIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pigmen Melanin Aktinomiset yang Berpotensi sebagai Antioksidan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2024

Maulida Aqlinia
G3501211021

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

MAULIDA AQLINIA. Pigmen Melanin Aktinomiset yang Berpotensi sebagai Antioksidan. Dibimbing oleh ARIS TRI WAHYUDI, RIKA INDRI ASTUTI, dan MUHAMMAD EKA PRASTYA.

Aktinomiset adalah bakteri Gram-positif yang menunjukkan diferensiasi morfologi dengan membentuk miselium dan spora. Aktinomiset terdistribusi luas di berbagai ekosistem dan habitat mulai dari darat hingga laut, bahkan di lingkungan ekstrem. Hal tersebut berkorelasi dengan keragaman morfologi, fisiologi, dan kemampuan metabolisme yang luas serta genomnya yang besar, menyebabkan aktinomiset mampu memproduksi dan mensintesis banyak metabolit dengan beragam fungsi dan struktur kimia unik dengan spektrum aktivitas biologis luas salah satunya pigmen. Pigmen merupakan salah satu metabolit aktinomiset yang penting, dimana aktinomiset merupakan kelompok bakteri yang dapat memproduksi pigmen lebih beragam dibandingkan kelompok mikroba lainnya. Aktinomiset mampu mensintesis pigmen coklat-hitam melanin atau melanoid yang biasa digunakan dalam studi taksonomi. Pigmen melanin memiliki spektrum bioaktivitas yang luas seperti antioksidan, antimikrob, dan antitumor. Gugus aktif fenolik hidroksil, karboksil, dan amina dalam unit strukturalnya memungkinkan melanin memiliki kemampuan meredam radikal bebas. Radikal bebas dapat dihasilkan oleh tubuh atau akibat radiasi UV, dimana akumulasinya dalam tubuh akan menyebabkan cekaman oksidatif yang dilaporkan berhubungan dengan patogenesis dan perkembangan penyakit kronis. Oleh karena itu, penelitian terkait potensi antioksidan melanin aktinomiset diharapkan dapat memberikan peluang kandidat antioksidan alami. Penelitian sebelumnya telah mengisolasi dua isolat aktinomiset dari tanah rizosfer lahan kering tanaman jagung dan spons laut. Kedua isolat tersebut belum pernah dianalisis potensinya sebagai penghasil pigmen melanin dengan aktivitas antioksidan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menentukan aktivitas antioksidan pigmen melanin aktinomiset secara *in vitro*, menganalisis pengaruh antioksidan melanin pada tingkat seluler menggunakan organisme model khamir *Schizosaccharomyces pombe* ARC039, dilanjutkan menentukan sifat fotoprotektif dari pigmen melanin tersebut.

Penelitian ini diawali dengan identifikasi dua isolat aktinomiset berpigmen hitam secara morfologi (pigmentasi miselium dan produksi *diffusible pigment*), dan molekuler (analisis gen 16S rRNA). Kemampuan sintesis pigmen melanin oleh aktinomiset dikonfirmasi dengan mendeteksi senyawa L-DOPA dan aktivitas enzim tirosinase pada kultur. Produksi pigmen melanin aktinomiset selanjutnya dilakukan pada medium dengan penambahan L-tirosin, kemudian melanin diekstraksi dengan metode presipitasi asam. Pigmen melanin yang didapat selanjutnya dikarakterisasi terhadap sifat fisikokimia (sifat kelarutan, reaksi terhadap zat pengoksidasi, sifat pengendapan), morfologi permukaan (SEM), dan struktur pigmen (spektrofotometri UV-Vis, spektrometri FT-IR dan ¹H NMR). Pigmen melanin ditentukan aktivitas antioksidannya secara *in vitro* terhadap radikal DPPH dan ABTS, kemudian dianalisis pengaruhnya pada tingkat seluler menggunakan khamir *S. pombe* serta aspek selulernya dengan analisis aktivitas mitokondria. Selain itu, sifat fotoprotektif pigmen melanin ditentukan melalui nilai *Sun Protection Factor* (SPF).

Pengamatan terhadap morfologi koloni makroskopis dan sel di bawah mikroskop menunjukkan isolat NTB15 termasuk dalam kelompok genus

Streptomyces dan diidentifikasi sebagai *S. tendae* berdasarkan hasil analisis sekuens gen 16S rRNA, sedangkan isolat HV6 termasuk ke dalam kelompok genus *Micromonospora* dan diidentifikasi sebagai *M. fulva*. *S. tendae* NTB15 dan *M. fulva* HV6 mampu mensintesis pigmen melanin ekstraseluler pada medium produksi *tyrosine broth* dengan suplementasi L-tirosin yang diindikasikan oleh perubahan warna medium menjadi hitam pekat. Melanin ekstraseluler *S. tendae* NTB15 dan *M. fulva* HV6 yang berhasil diekstraksi memiliki karakter berbentuk serbuk kasar berwarna hitam. Selain itu, hasil karakterisasi sifat fisikokimia, morfologi permukaan (SEM), dan struktur pigmen (spektrum serapan UV-Vis, FT-IR dan ¹H NMR) menunjukkan bahwa melanin aktinomiset memiliki sifat yang mirip dengan *eumelanin*. Hasil penentuan aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa melanin *M. fulva* HV6 memiliki aktivitas antioksidan DPPH dan ABTS *in vitro* lebih baik daripada melanin *S. tendae* NTB15 dengan nilai IC₅₀ masing-masing pada konsentrasi 31,55 µg/mL dan 63,07 µg/mL. Lebih lanjut, melanin *M. fulva* HV6 mampu memberikan resistensi sel *S. pombe* dalam kondisi cekaman oksidatif (H₂O₂ 2 mM) pada konsentrasi yang lebih rendah daripada melanin *S. tendae* NTB15, dan pada konsentrasi 240 µg/mL dapat mempertahankan viabilitas sel khamir lebih baik daripada asam L-askorbat 20 µg/mL dan sebanding dengan kondisi *calorie restriction* (CR). Melanin juga memacu sistem respons pertahanan *S. pombe* terhadap cekaman oksidatif dengan meningkatkan aktivitas mitokondria dan menginduksi toleransi cekaman melalui proses *mitochondrial adaptive ROS signaling* (MARS), seperti yang terjadi pada kondisi CR. Selain itu, hasil penentuan sifat fotoprotektif menunjukkan melanin *S. tendae* NTB15 dan *M. fulva* HV6 memiliki efek proteksi terhadap sinar UVB dengan nilai SPF masing-masing sebesar 12,69 (rendah) dan 20,78 (sedang) pada konsentrasi 125 µg/mL.

Kata kunci: aktinomiset, antioksidan, melanin, pigmen, *Schizosaccharomyces pombe*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

MAULIDA AQLINIA. Melanin Pigments Produced by Actinomycetes as a Potential Source of Antioxidants. Supervised by ARIS TRI WAHYUDI, RIKA INDRI ASTUTI, and MUHAMMAD EKA PRASTYA.

Actinomycetes are Gram-positive bacteria that show morphological differentiation by forming mycelium and spores. Actinomycetes are widely distributed in diverse ecosystems and habitats from land to sea, even in extreme environments. This correlates with a wide diversity of morphology, physiology and metabolic capabilities, as well as a large genome, resulting in actinomycetes being able to produce and synthesize many metabolites with diverse functions and unique chemical structures with a broad spectrum of biological activity, one of which is pigments. Pigments are one of the most important metabolites produced by actinomycetes, a group of bacteria that can produce more diverse pigments than other microbial groups. Actinomycetes are capable of synthesizing the brown-black pigment melanin, or melanoids, which are commonly used in taxonomic studies. Melanin pigments have a broad spectrum of bioactivities such as antioxidant, antimicrobial, and antitumor. The active phenolic hydroxyl, carboxyl and amine groups in its structural units give melanin the ability to reduce free radicals. Free radicals can be generated by the body or due to UV radiation, where their accumulation in the body causes oxidative stress, which has been reported to be associated with the pathogenesis and development of chronic diseases. Therefore, research on the antioxidant potential of actinomycete melanin is expected to provide opportunities for natural antioxidant candidates. Previous studies have isolated two actinomycete isolates from dryland rhizosphere soils of maize plants and sea sponges. Both isolates have never been investigated for their potential as melanin pigment producers with antioxidant activity. Therefore, this study aims to determine the *in vitro* antioxidant activity of actinomycetes melanin pigments, analyze the effect of melanin antioxidants at the cellular level using the yeast model organism *Schizosaccharomyces pombe* ARC039, and then determine its photoprotective properties.

This study began with the identification of two black-pigmented actinomycete isolates morphologically (mycelial pigmentation and diffusible pigment production) and molecularly (16S rRNA gene analysis). The ability of actinomycetes to synthesize melanin pigment was confirmed by the detection of L-DOPA compound and tyrosinase enzyme activity in culture. Further production of melanin pigment by actinomycetes was carried out on medium with addition of L-tyrosine, then melanin was extracted by acid precipitation method. The melanin pigments obtained were then characterized for physicochemical properties (solubility, reaction to oxidants, precipitation properties), surface morphology (SEM), and pigment structure (UV-Vis spectrophotometry, FT-IR spectrometry, and ¹H NMR). The melanin pigments were evaluated for their *in vitro* antioxidant activity against DPPH and ABTS radicals, their effect at the cellular level using *S. pombe*, and their cellular aspects by analysis of mitochondrial activity. In addition, the photoprotective properties of the melanin pigments were determined by Sun Protection Factor (SPF) values.

Observation of macroscopic colony morphology and cells under the microscope showed that isolate NTB15 belonged to the genus *Streptomyces* and was

identified as *S. tendae* based on the results of 16S rRNA gene sequence analysis, while isolate HV6 belonged to the genus *Micromonospora* and was identified as *M. fulva*. *S. tendae* NTB15 and *M. fulva* HV6 were able to synthesize extracellular melanin pigments on tyrosine broth production medium with L-tyrosine supplementation, as indicated by the change of medium color to solid black. The extracted extracellular melanin from *S. tendae* NTB15 and *M. fulva* HV6 is characterized as a coarse black powder. In addition, the characterization results of physicochemical properties, surface morphology (SEM), and pigment structure (UV-Vis, FT-IR, and ¹H NMR absorption spectra) showed that actinomycete melanin has similar properties to eumelanin. The results of antioxidant activity determination showed that *M. fulva* HV6 melanin had better *in vitro* DPPH and ABTS antioxidant activities than *S. tendae* NTB15 melanin with IC₅₀ values at concentrations of 31.55 µg/mL and 63.07 µg/mL, respectively. Furthermore, *M. fulva* HV6 melanin was able to confer resistance to *S. pombe* cells under oxidative stress conditions (2 mM H₂O₂) at lower concentrations than *S. tendae* NTB15 melanin, and at a concentration of 240 µg/mL could maintain yeast cell viability better than 20 µg/mL L-ascorbic acid and comparable to calorie restriction (CR) conditions. Melanin pigment also stimulated *S. pombe*'s defense response system against oxidative stress by increasing mitochondrial activity and inducing stress tolerance through the process of mitochondrial adaptive ROS signaling (MARS), as occurs under CR conditions. In addition, the determination of photoprotective properties showed that *S. tendae* NTB15 and *M. fulva* HV6 melanin had a protective effect against UVB rays with SPF values of 12.69 (low) and 20.78 (medium) at a concentration of 125 µg/mL, respectively.

Keywords: *actinomycetes, antioxidant, melanin, pigment, Schizosaccharomyces pombe*

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PIGMEN MELANIN AKTINOMISET YANG BERPOTENSI SEBAGAI ANTIOKSIDAN

MAULIDA AQLINIA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Mikrobiologi

**PROGRAM STUDI MIKROBIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.


Judul Tesis : Pigmen Melanin Aktinomiset yang Berpotensi sebagai Antioksidan
Nama : Maulida Aqlinia
NIM : G3501211021

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Aris Tri Wahyudi, M.Si.

Pembimbing 2:
Dr. Rika Indri Astuti, S.Si., M.Si.

Pembimbing 3:
Dr. M. Eka Prastya, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Dra. Anja Meryandini, M.S.
NIP 196203271987032001

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam:
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.
NIP 197807232007011001

Tanggal Ujian: 25 Juni 2024

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji syukur kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang telah dilaksanakan sejak Januari 2023 hingga Maret 2024 ini berjudul “Pigmen Melanin Aktinomiset yang Berpotensi sebagai Antioksidan” dengan tema senyawa antioksidan.

Dengan rasa bahagia penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam penyusunan karya ilmiah ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada Prof. Dr. Aris Tri Wahyudi, M.Si. selaku ketua komisi pembimbing, Dr. Rika Indri Astuti, S.Si., M.Si. dan Dr. M. Eka Prastya, S.Si., M.Si. selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, memotivasi dan memberikan saran kepada penulis selama penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen seminar Prof. Dr. Ir. Rd. Roro Dyah Perwitasari, M.Sc, penguji luar komisi pembimbing Dr. Akhmad Darmawan (Badan Riset dan Inovasi Nasional), dan Kaprodi Mikrobiologi Prof. Dr. Dra. Anja Meryandini, M.S. atas saran dan masukan dalam karya ilmiah. Penghargaan penulis sampaikan kepada bu Heni Rismiyati dan pak Aldian Permana serta seluruh staf Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FMIPA IPB, bu Theresia Retno dan bu Neneng Karimaryati selaku staf Laboratorium Terpadu Departemen Biologi FMIPA IPB, serta ATW *Team* 2022-2024 yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama proses akuisisi data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga; Bapak, Ibu, kakak, dan adik penulis yang telah memberikan dukungan doa, moral, material, dan kasih sayangnya kepada penulis selama pelaksanaan penelitian, serta seluruh dosen, sahabat, dan teman seperjuangan di program studi Mikrobiologi 2021.

Penulis berharap karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2024

Maulida Aqlinia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aktinomiset dan Potensinya	5
2.2 Pigmen Melanin	6
2.3 Karakterisasi Pigmen Melanin	10
2.4 Radikal Bebas dan Antioksidan	12
2.5 Metode Evaluasi Aktivitas Antioksidan	14
III METODE	17
3.1 Kerangka Penelitian	17
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan	18
3.4 Prosedur Kerja	18
3.4.1 Sumber isolat aktinomiset dan khamir	18
3.4.2 Identifikasi isolat aktinomiset	19
3.4.3 Produksi dan ekstraksi pigmen melanin aktinomiset	19
3.4.4 Karakterisasi pigmen melanin aktinomiset	21
3.4.5 Uji peredaman radikal 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	21
3.4.6 Uji peredaman radikal 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)	22
3.4.7 Uji respons cekaman oksidatif seluler pada sel khamir	23
3.4.8 Deteksi aktivitas mitokondria sel khamir	23
3.4.9 Penentuan sifat fotoprotektif pigmen melanin aktinomiset	23
3.5 Analisis data	24
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil	25
4.1.1 Identifikasi isolat aktinomiset	25
4.1.2 Produksi dan ekstraksi pigmen melanin aktinomiset	28
4.1.3 Karakterisasi pigmen melanin aktinomiset	30
4.1.4 Aktivitas antioksidan pigmen melanin aktinomiset	35
4.1.5 Respons cekaman oksidatif seluler pada sel khamir	35
4.1.6 Aktivitas mitokondria sel khamir	36
4.1.7 Sifat fotoprotektif pigmen melanin aktinomiset	37
4.2 Pembahasan	38



V	SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1	Simpulan	45
5.2	Saran	45
	DAFTAR PUSTAKA	46
	LAMPIRAN	55
	RIWAYAT HIDUP	64

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1	Ringkasan jenis, sumber dan prekursor melanin	8
2	Potensi aktivitas antioksidan pigmen melanin aktinomiset	10
3	Jenis ROS dan RNS yang diproduksi selama proses metabolisme	13
4	Analisis homologi sekuens gen 16S rRNA isolat aktinomiset berdasarkan hasil BLAST-N	27
5	Nilai persentase rendemen pigmen melanin aktinomiset	30
6	Karakter fisikokimia pigmen melanin dari aktinomiset	31
7	Perbandingan nilai IC ₅₀ aktivitas antioksidan <i>in vitro</i>	35
8	Penentuan sifat fotoprotektif pigmen melanin aktinomiset	37

DAFTAR GAMBAR

1	Morfologi umum aktinomiset yang tumbuh pada medium agar	5
2	<i>Diffusible pigment</i> yang dihasilkan oleh berbagai jenis aktinomiset dalam medium <i>starch casein agar</i>	6
3	Struktur kimia dari <i>building blocks</i> melanin dan jalur biosintesisnya	8
4	Skema sintesis melanin pada bakteri dan cendawan	9
5	Beberapa metode karakterisasi untuk identifikasi struktur melanin	11
6	Morfologi sel <i>S. pombe</i> pada mikroskop perbesaran 400x	15
7	Diagram alir penelitian	17
8	Isolat aktinomiset yang ditumbuhkan pada medium ISP-4 agar	18
9	Karakteristik morfologi makroskopik dan mikroskopik isolat aktinomiset yang diamati pada medium ISP-4	25
10	Sintesis pigmen melanoid ekstraseluler pada medium <i>tyrosine agar</i> dan hasil uji hemolitik pada medium <i>blood agar</i> isolat aktinomiset	26
11	Visualisasi amplikon gen 16S rRNA isolat aktinomiset	27
12	Konstruksi pohon filogenetik <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6 berdasarkan sekuens gen 16SrRNA	28
13	Perubahan warna kultur <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6 pada medium produksi <i>tyrosine broth</i>	28
14	Konsentrasi L-DOPA dan aktivitas enzim tirosinase pada kultur isolat aktinomiset di medium <i>tyrosine broth</i>	29
15	Kultur produksi melanin ekstraseluler isolat aktinomiset pada medium <i>tyrosine broth</i> dan hasil ekstraksi melanin dengan metode presipitasi asam	30
16	Spektrum serapan UV-Vis melanin <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6 yang dibandingkan dengan standar melanin	31
17	Citra partikel melanin <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6 yang diamati menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i>	32
18	Spektra IR melanin <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6 yang dibandingkan dengan standar melanin	33



19	Spektra ¹ H NMR melanin <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6 yang dibandingkan dengan standar melanin	34
20	Pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi melanin aktinomiset terhadap viabilitas sel <i>S. pombe</i> yang diberi perlakuan cekaman H ₂ O ₂	36
21	Pengaruh melanin <i>M. fulva</i> HV6 terhadap aktivitas mitokondria khamir <i>S. pombe</i> berdasarkan pewarnaan Rhodamine B	37

DAFTAR LAMPIRAN

1	Komposisi medium	56
2	Sekuens gen 16S rRNA <i>S. tendae</i> NTB15 dan <i>M. fulva</i> HV6	56
3	Dokumentasi karakterisasi pigmen melanin aktinomiset	58
4	Contoh perhitungan aktivitas antioksidan pigmen melanin	60
5	Morfologi khamir <i>S. pombe</i>	61
6	Penentuan sifat fotoprotektif pigmen melanin aktinomiset	62

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.