

EKSPLORASI PROFIL GEN RESISTENSI ANTIBIOTIK PADA MIKROBIOM TANAH HUTAN ARBORETUM IPB DENGAN PENDEKATAN *WHOLE METAGENOME*

FAREL IMMANUEL W. PURBA



**DEPARTEMEN BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

- 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.

Perpustakaan 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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Eksplorasi Profil Gen Resistensi Antibiotik pada Mikrobiom Tanah Hutan Arboretum IPB dengan Pendekatan *Whole Metagenome*” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Farel Immanuel W. Purba
G8401221059



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University

ABSTRAK

FAREL IMMANUEL W. PURBA. Eksplorasi Profil Gen Resistensi Antibiotik pada Mikrobiom Tanah Hutan Arboretum IPB dengan Pendekatan *Whole Metagenome*. Dibimbing oleh RAHADIAN PRATAMA dan FIFI GUS DWIYANTI.

Tanah ekosistem hutan merupakan reservoir gen resistensi antibiotik (ARGs) alami yang menyimpan diversitas genetik tinggi dari komunitas mikroba tanah. Penelitian ini bertujuan menentukan struktur komunitas mikroba, profil gen fungsional, serta karakteristik resistom mikrobiom tanah Arboretum IPB menggunakan pendekatan *whole metagenome sequencing* (WMS). Berdasarkan analisis taksonomi yang dilakukan, hasil menunjukkan adanya dominasi kuat dari filum *Actinomycetota* dan *Pseudomonadota*, dengan *Streptomyces* dan *Bradyrhizobium* sebagai genus paling melimpah. Rekonstruksi genom memulihkan 12 *Metagenome-Assembled Genomes* (MAGs), didominasi *Acidobacteria* dan *Chloroflexi* menunjukkan kapasitas tinggi dalam degradasi karbohidrat kompleks, *non-ribosomal peptide synthetases* (NRPS), serta metabolisme hidrogen dan besi. Profiling resistensi antibiotik (ARGs) menemukan sebaran kelas *multidrug*, tetrasiklin, fluorokuinolon, dan lainnya lintas filum bakteri.

Kata kunci: gen resistensi antibiotik, hutan arboretum, metagenomik, mikrobiom tanah, *whole metagenome sequencing*

ABSTRACT

FAREL IMMANUEL W. PURBA. Exploration of Antibiotic Resistance Gene Profiles in the Soil Microbiome of the IPB Arboretum Forest Using *Whole Metagenome* Approach. Supervised by RAHADIAN PRATAMA and FIFI GUS DWIYANTI.

Forest ecosystem soils serve as natural reservoirs for antibiotic resistance genes (ARGs), harboring a high genetic diversity of microbial communities. This study aims to determine the community structure, functional gene profiles, and the resistome of the soil microbiome in the Arboretum of the Faculty of Forestry and Environment at IPB University using a whole metagenome sequencing (WMS) approach. Taxonomic analysis identified the dominance of the phyla *Actinomycetota* and *Pseudomonadota*, with *Streptomyces* and *Bradyrhizobium* being the most abundant genera. Genome reconstruction recovered 12 *Metagenome-Assembled Genomes* (MAGs), dominated by *Acidobacteria* and *Chloroflexi*, which exhibited high capacities for complex carbohydrate degradation, *non-ribosomal peptide synthetases* (NRPS), as well as hydrogen and iron metabolism. Antibiotic resistance (ARG) profiling revealed the distribution of multidrug, tetracycline, fluoroquinolone, and other classes across various bacterial phyla.

Keywords: arboretum forest, antibiotic resistance genes, metagenomics, soil microbiome, while metagenome sequencing



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 2026
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.

EKSPLORASI PROFIL GEN RESISTENSI ANTIBIOTIK PADA MIKROBIOM TANAH HUTAN ARBORETUM IPB DENGAN PENDEKATAN *WHOLE METAGENOME*

FAREL IMMANUEL W. PURBA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Biokimia

**DEPARTEMEN BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

Dr. Syamsul Falah, S.Hut., M.Si.

2. Ukhradiya Magharaniq Safira P., S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : Eksplorasi Profil Gen Resistensi Antibiotik pada Mikrobiom Tanah
Hutan Arboretum IPB dengan Pendekatan *Whole Metagenome*
Nama : Farel Immanuel W. Purba
NIM : G8401221059

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si

Pembimbing 2:
Fifi Gus Dwiyaniti, S.Hut., M.Agr., Ph.D

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Mega Safithri, S.Si., M.Si.
NIP. 197709152005012002

IPB University

Tanggal Ujian:
6 Mei 2026

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 menggunakan 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 dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2025 sampai bulan Februari 2026 ini ialah biomolekul, dengan judul “Eksplorasi Profil Gen Resistensi Antibiotik pada Mikrobiom Tanah Hutan IPB dengan Pendekatan *Whole Metagenome*”.

Keberhasilan penulis untuk menyelesaikan karya ilmiah ini tidak lepas dari doa, bantuan, bimbingan, dan dukungan setiap pihak yang terkait. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu menjadi sandaran hidup dan sumber pengharapan. Berkat, kasih dan kekuatan dari-Nya, penulis senantiasa mampu melakukan segala pekerjaan yang terasa mustahil.
2. Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si., M.Si. dan Fifi Gus Dwiyantri, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku pembimbing yang selalu memberikan arahan dan bimbingan serta ilmu terkait penelitian yang telah dijalankan, serta berbagai saran yang diberikan selama penyusunan karya ilmiah.
3. PaninBank dan Yayasan Satriabudi Dharma Setia (YSDS) atas dukungan fasilitas serta pemanfaatan instrumentasi laboratorium yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.
4. Pembimbing akademik, penguji seminar hasil, dan penguji sidang komprehensif. Di samping itu, terima kasih kepada staf Laboratorium Keteknikan Biokimia yang telah membantu dalam penyediaan fasilitas serta memberikan bimbingan teknis selama pelaksanaan penelitian ini.
5. Pdt. Fraimen J. Purba, S.Th., M.Th., dan Lusiana Saragih selaku orang tua penulis yang selalu menjadi sumber kekuatan dan kasih sayang tanpa batas. Terima kasih atas doa tanpa henti, disiplin yang ditanamkan, serta semangat sejak awal pendidikan hingga kini.
6. Adik-adik penulis, Kezia Christy Priscilla Purba dan Christopher Gerald Purba. Terima kasih atas canda tawa, semangat, dan perhatian tulus.
7. Greifeny Octavia Saragih, terima kasih atas pengertian, penyertaan, dan dukungan di tengah kesibukan dan tekanan selama proses penyusunan skripsi.
8. Teman-teman komisi kesenian PMK, Nanda, Bertha, Rori, Markus, Reva Tarigan, Erika, Saut, dan yang tidak disebutkan satu-persatu yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan dan pelayanan di kampus.
9. Teman-teman bimbingan pak Rahadian (Ilham, Tillah, Zulfa, Aulia, Salsabila, Sydney, dan Nadya) yang telah membantu dalam proses teknis penelitian dan penulisan karya ilmiah.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Farel Immanuel W. Purba



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Hipotesis	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Ekosistem Hutan	3
2.2 Arboretum IPB	3
2.3 Biodiversitas Mikrobioma	4
2.4 <i>Whole Metagenome Sequencing</i> (WMS)	5
2.5 <i>Metagenome Assembled Genomes</i> (MAGs)	6
2.6 Resistensi Antimikroba dan Gen Resistensi Antibiotik (ARGs)	7
2.7 <i>Biosynthetic Gene Clusters</i> (BGCs)	9
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Penelitian	11
3.4 Analisis Bioinformatika	16
IV HASIL	19
4.1 Kemurnian dan Konsentrasi DNA	19
4.2 Integritas DNA	19
4.3 Evaluasi Kualitas dan Filtering data Sekuensing	20
4.4 Klasifikasi Taksonomi Mikrobiom pada Tanah Hutan Arboretum IPB	22
4.5 Analisis Struktur Komunitas Bakteri Tanah Hutan Arboretum IPB	23
4.6 Perakitan Metagenom dan Rekonstruksi <i>Metagenome-Assembled Genomes</i> (MAGs)	25
4.7 Anotasi Gen Fungsional MAGs	29
4.8 Profiling Gen Resistensi Antibiotik	32
V PEMBAHASAN	35
5.1 Evaluasi Kuantitas dan Kualitas DNA Tanah Hutan Arboretum IPB	35
5.2 Evaluasi Kualitas dan Filtering Data Sekuensing	36
5.3 Keragaman Spesies Bakteri pada Tanah Hutan Arboretum IPB	37
5.4 Analisis Struktur Komunitas Bakteri Tanah Hutan Arboretum IPB	38
5.5 Perakitan Metagenom (Assembly) dan Rekonstruksi <i>Metagenome-Assembled Genomes</i> (MAGs)	40
5.6 Anotasi Gen Fungsional <i>Metagenome-Assembled Genomes</i> (MAGs)	41
5.7 Profil Gen Resistensi Antibiotik pada MAGs Tanah Hutan Arboretum	43
VI SIMPULAN DAN SARAN	46



6.1	Simpulan	46
6.2	Saran	46

DAFTAR PUSTAKA	47
----------------	----

LAMPIRAN	57
----------	----

@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	Titik koordinat pengambilan sampel	13
2	Paramater <i>basecalling</i>	17
3	Hasil pengukuran kualitas DNA dengan NanoDrop	20
4	Hasil pengukuran konsentrasi DNA dengan Quantus	20
5	Kontrol kualitas hasil sekuensing sampel ARB1 dan ARB3	22
6	Persentase organisme terklasifikasi pada sampel tanah limbah	23
7	Komparasi statistik efektivitas perangkat <i>assembler</i>	27
8	Klasifikasi taksonomi dari MAG hasil rekonstruksi	29

DAFTAR GAMBAR

1	Ekosistem hutan Arboretum Fakultas Kehutanan dan Lingkungan	4
2	Pohon filogenetik tiga domain kehidupan	5
3	Alur kerja analisis metagenomik untuk rekonstruksi genom mikroba	10
4	Alur kerja identifikasi dan analisis BGCs dalam produksi metabolit sekunder	11
5	Lokasi area pengambilan sampel	13
6	Hasil elektroforesis pasca ekstraksi DNA	21
7	Grafik plot kedalaman (<i>density plot</i>) antara panjang bacaan dan kualitas	22
8	Komposisi komunitas bakteri pada tingkat filum dan genus	24
9	Kurva rarefaksi dari sampel ARB1 dan ARB3	25
10	<i>Heatmap</i> berbagai kelompok takson pada level famili dan genus	26
11	Kurva perbandingan kualitas perakitan (<i>Assembly</i>) dengan perangkat metaFlye, Raven, MEGAHIT, dan metaMDBG	28
12	Komparasi gen fungsional antar sampel ARB1 dan ARB3	31
13	Profil kelengkapan jalur metabolisme (<i>pathway groups</i>) pada MAGs	31
14	Plot kotak (<i>box plot</i>) nilai kelengkapan jalur metabolisme MAGs	32
15	Klasifikasi fungsional setiap MAGs pada dataset CAZyme, BGCs, dan <i>microtrait</i>	32
16	Distribusi gen resisten antibiotik (ARGs) pada tingkat filum bakteri	34
17	<i>Chord diagram</i> profil gen resistensi antibiotik (ARGs) terasosiasi dengan <i>Metagenome-Assembled Genomes</i> (MAGs)	35

DAFTAR LAMPIRAN

1	Bagan alir penelitian	68
2	Dokumentasi penelitian	69