

KARAKTERISASI GENOM DAN EKSPLORASI KLASTER GEN BIOSINTETIK *Aspergillus* sp. SM101 ENDOFIT SIRIH MERAH (*Piper crocatum*)

NOUFAL FADILAH



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.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Karakterisasi Genom dan Eksplorasi Klaster Gen Biosintetik *Aspergillus* sp. SM101 Endofit Daun Sirih Merah (*Piper crocatum*)” 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

Noufal Fadilah
G8401221017



@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.

ABSTRAK

NOUFAL FADILAH. Karakterisasi Genom Lengkap dan Eksplorasi Klaster Gen Biosintetik *Aspergillus* sp. Endofit Sirih (*Piper crocatum*). Dibimbing oleh MEGA SAFITHRI dan RAHADIAN PRATAMA.

Kapang endofit dari tanaman sirih merah (*Piper crocatum*) diketahui sebagai sumber senyawa bioaktif baru yang belum banyak dieksplorasi profil genetiknya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi genom utuh isolat *Aspergillus* sp. endofit sirih merah guna mengidentifikasi identitas taksonomi, mengkaji gen fungsional terkait adaptasi ekologis, serta mengeksplorasi klaster gen biosintetik pembentuk metabolit sekunder. Metode yang digunakan meliputi *sequencing* genom utuh, identifikasi molekuler, anotasi genom, dan analisis klaster gen biosintetik secara komputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat endofit sirih merah berhasil teridentifikasi sebagai *Aspergillus aculeatinus* dengan ukuran genom 36,58 Mb dan nilai BUSCO 99,1%. Gaya hidup endofit didukung oleh kapasitas metabolik primer dan sekunder serta kemampuan adaptasi yang kuat. Lebih lanjut, genom isolat ini memiliki 88 klaster biosintetik yang memiliki aktivitas biologis antikanker, antibakteri, antijamur, dan insektisida. Implikasi dari penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan genomik dan bioinformatika efektif untuk karakterisasi genom kapang secara komprehensif sekaligus mengeksplorasi potensi tersembunyi metabolit sekunder yang bernilai medis dan bioteknologis.

Kata kunci: *Aspergillus*, endofit, genom, klaster gen biosintetik, sirih merah.

ABSTRACT

NOUFAL FADILAH. Whole Genome Characterization and Biosynthetic Gene Clusters Exploration of *Aspergillus* sp. SM101 Endophytic of Red Betel (*Piper crocatum*). Supervised by MEGA SAFITHRI and RAHADIAN PRATAMA.

Endophytic fungi from red betel (*Piper crocatum*) possess high potential as a promising, yet genomically underexplored, source of novel bioactive compounds. The study aims to perform complete genome characterization of the endophytic *Aspergillus* sp. isolate from red betel to precisely identify the species, examine functional genes related to ecological adaptation, and explore biosynthetic gene clusters responsible for secondary metabolite production. The methods involved whole genome *sequencing*, molecular identification, genome annotation, and computational analysis of biosynthetic gene clusters. The results reveal that the isolate was successfully identified as *Aspergillus aculeatinus* with a genome size of 36.8 Mb and a BUSCO score of 99.1%. Novel findings confirm the endophytic lifestyle of this fungus, which is supported by its strong primary and secondary metabolic capacities, as well as robust adaptive capabilities. Furthermore, the genome of this isolate, containing 88 biosynthetic gene clusters with biological activities as anticancer, antibacterial, antifungal, and insecticidal agents. The implications of this study confirm that genomic and bioinformatics approaches are highly effective for precise fungal genome characterization and exploring the hidden biotechnological and medical potential of beneficial secondary metabolites.

Keywords: *Aspergillus*, biosynthetic gene clusters, endophyte, genome, red betel.



@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.



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.

KARAKTERISASI GENOM DAN EKSPLORASI KLAS- TER GEN BIOSINTETIK *Aspergillus* sp. SM101 ENDOFIT SIRIH MERAH (*Piper crocatum*)

NOUFAL FADILAH

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:

- 1 Rini Kurniasih, S.Si., M.Si
- 2 Prof. Dr. drh. Hasim, DEA

Judul Skripsi : Karakterisasi Genom dan Eksplorasi Klaster Gen Biosintetik
Aspergillus sp. SM101 Endofit Sirih Merah (*Piper crocatum*)

Nama : Noufal Fadilah
NIM : G8401221017

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Mega Safithri, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:
Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

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



Tanggal Ujian:
15 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2025 sampai bulan Februari 2026 ini ialah Genomik dan Bioinformatika, dengan judul “Karakterisasi Genom dan Eksplorasi Klaster Gen Biosintetik *Aspergillus* sp. SM101 Endofit Sirih Merah (*Piper crocatum*)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyusun skripsi ini, diantaranya:

1. Prof. Dr. Mega Safithri, S.Si., M.Si. dan Dr. rer. nat. Rahadian Pratama selaku pembimbing yang telah memberikan ilmu, saran, dan fasilitas dalam penelitian ini.
2. Direktorat Riset dan Inovasi, IPB University melalui dana penelitian DAPT EQUITY Nomor: 59544/IT3.D10/PT.01.03//P/B/2025 dan dana penelitian Dosen Muda Nomor: 11599/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2025.
3. Ayah, Ibu, dan keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayang.
4. Seluruh dosen pengajar dan staf Departemen Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University yang telah memberikan ilmu dan menyiapkan segala kebutuhan akademis selama menyelesaikan studi.
5. Annisa dan Cheril selaku rekan yang telah membantu pengumpulan data selama penelitian.
6. Seluruh rekan Biokimia 59 atas dukungan, kebersamaan, dan semangat dalam perjalanan perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
7. Fathinaya Eka Listianti yang sudah membantu, membersamai, memberikan saran, masukan dan memberikan semangat selama perjalanan skripsi dan penelitian ini, serta selalu menjadi partner yang baik

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

Bogor, Juli 2026

Noufal Fadilah



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Hipotesis	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Kapang Endofit	3
2.2 Kapang <i>Aspergillus</i> sp.	4
2.3 Sirih Merah	5
2.3 Klaster Gen Biosintetik	7
2.4 <i>Whole Genome Sequencing</i>	9
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Kerja	11
3.3.1 Kultivasi Isolat	11
3.3.2 Isolasi DNA Genom	12
3.3.3 Elektroforesis DNA Genom	12
3.3.4 Analisis Kemurnian DNA Genom	12
3.3.5 Kuantifikasi DNA berbasis Fluorometri	13
3.3.6 Pemurnian dan Pemekatan DNA dengan <i>AMPure XP beads</i>	13
3.3.7 <i>Sequencing</i> dan <i>Assembly</i> Genom	13
3.3.8 Identifikasi Molekuler dan Analisis Filogenetik	14
IV HASIL	16
4.1 Morfologi <i>Aspergillus</i> sp. Endofit Sirih Merah	16
4.2 Kuantifikasi DNA	16
4.3 Kualitas Sekuens Luanan ONT	17
4.4 Kualitas dan Hasil Rakitan Genom	18
4.5 Identifikasi Molekuler	19
4.6 Anotasi Genom	20
4.7 Analisis Klaster Gen Biosintetik	23
V PEMBAHASAN	26
5.1 Identifikasi Morfologi	26
5.2 Evaluasi Kualitas DNA	27
5.3 Kualitas Sekuens dan <i>Assembly</i>	28
5.4 Identifikasi Molekuler	29
5.5 Anotasi Fungsional Gen	30
5.6 Eksplorasi <i>Biosynthetic Gene Clusters</i> (BGC)	35
VI SIMPULAN DAN SARAN	41
6.1 Simpulan	41
6.2 Saran	41



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	Daftar senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh <i>Aspergillus</i>	5
2	Kemurnian dan konsentrasi hasil ekstraksi DNA	16
3	Statistik data hasil <i>sequencing</i> genom	18
4	Kualitas rakitan genom	18
5	Validasi kelengkapan genom	19
6	Statistik anotasi genom	20
7	Daftar klaster dengan skor kemiripan tertinggi	25

DAFTAR GAMBAR

1	Morfologi <i>Aspergillus</i> sp.	4
2	Morfologi sirih merah	6
3	Prinsip <i>sequencing</i> ONT	10
4	Morfologi isolat <i>Aspergillus</i> sp. endofit sirih merah pada media PDA	16
5	Pita hasil elektroforesis sampel DNA.	17
6	Grafik <i>read lengths vs average quality</i>	18
7	Pohon filogenetik <i>Aspergillus</i> sp. SM101 endofit sirih merah berdasarkan gen <i>CaM</i> dengan spesies dalam section <i>Nigri</i>	19
8	Klasifikasi fungsional COG	21
9	Sepuluh teratas <i>pathway</i> KEGG aktif	22
10	Distribusi kelas dan famili CAZy	22
11	Profil fungsional PGP yang memperlihatkan distribusi gen yang terlibat dalam lima mekanisme utama pemacu pertumbuhan tanaman.	23
12	Distribusi tipe BGCs dari 88 region yang ditemukan.	24
13	<i>Pathway</i> biosintesis <i>roquefortine/melagrane</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram Alur Penelitian	54
2	<i>NanoStat Report</i>	55
3	<i>AntiSMASH result</i>	56
4	Dokumentasi penelitian	59