

- 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.

**IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI PROFIL GEN
RESISTENSI DAN FORMASI PEMBUNGAAN PADA *Musa
acuminata* subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert, Sulist. &
Poerba SECARA *IN SILICO***

DEWI RAHMAWATI



**PROGRAM STUDI MAGISTER BOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 “IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI PROFIL GEN RESISTENSI DAN FORMASI PEMBUNGAAN PADA *Musa acuminata* subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert, Sulist. & Poerba SECARA *IN SILICO*” 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, Agustus 2025

Dewi Rahmawati
G8501231004



RINGKASAN

Dewi Rahmawati. Identifikasi dan Karakterisasi Profil Gen Resistensi dan Formasi Pembungaan pada *Musa acuminata* subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert, Sulist. & Poerba secara *In Silico*. Dibimbing oleh I MADE ARTIKA, RAHADIAN PRATAMA, dan FAJARUDIN AHMAD.

Layu *Fusarium*, yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), menimbulkan ancaman serius bagi produksi pisang global, terutama ras *Fusarium* TR4 yang sulit dikendalikan. Kerusakan yang ditimbulkan tidak hanya mengurangi hasil panen, tetapi juga berdampak pada keberlanjutan ekonomi dan ketahanan pangan di negara-negara penghasil pisang. *Musa acuminata* subsp. *sumatrana*, salah satu plasma nutfah asli Indonesia, memiliki karakteristik morfologi dan genetik yang berpotensi sebagai sumber alel unggul untuk ketahanan terhadap penyakit dan produktivitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap profil genomik *M. acuminata* subsp. *sumatrana* melalui pendekatan *Whole Genome Sequencing* (WGS) dan mengidentifikasi gen yang terlibat dalam ketahanan terhadap penyakit dan regulasi pembungaan.

Sampel DNA diekstraksi dan disekuensing menggunakan PromethION dan Illumina NovaSeq 6000. Karakterisasi genom menggunakan QC, Flye, Medaka, dan Pilon, anotasi Braker dan anotasi funannotate di UseGalaxy.eu. Identifikasi domain protein menggunakan InterProScan dengan basis data Pfam, HMMER3, dan CDD. Analisis filogenetik menggunakan MEGA11 dan interaksi protein serta pengayaan GO dilakukan melalui STRING-DB.

Hasil WGS menunjukkan bahwa genom *M. acuminata* subsp. *sumatrana* terdiri dari 51.358 gen, termasuk 4.885 gen teranotasi dan 44.729 gen hipotetis mencerminkan kompleksitas dan keragaman genetik yang tinggi. Hasil identifikasi domain menemukan 28 gen resistensi, termasuk *TGAL1* (nilai bootstrap 100) yang berkerabat dekat dengan RGA1 terkait ketahanan Black Sigatoka. Sebanyak 16 protein diklasifikasikan dalam kategori "Respon terhadap Stimulus" (GO:0050896; sinyal 0,35; FDR: 0,0153) menunjukkan keterlibatan dalam respon biologis dengan keterkaitan rendah. Hasil identifikasi domain menemukan 18 gen pembungaan, termasuk AGL11, SOC1, dan AGL12, yang berinteraksi dengan gen RS2 serta lima gen tambahan dalam kategori "Perkembangan Bunga" (GO:0009908; sinyal 1,81; FDR: $6,88 \times 10^{-8}$). Nilai sinyal yang tinggi mengidentifikasi keterkaitan biologis yang kuat, sedangkan FDR yang sangat kecil menunjukkan tingkat signifikansi yang tinggi sehingga hasil ini dapat dianggap valid secara statistik. Beberapa gen yang diidentifikasi dalam penelitian ini belum pernah dilaporkan sebelumnya, menjadikannya sumber potensial gen baru, meskipun masih memerlukan analisis lebih lanjut.

Kata kunci: Imunitas tanaman, perakitan hibrida, pisang liar, regulasi pembungaan, WGS

SUMMARY

DEWI RAHMAWATI. Identification and Characterisation of Resistance Gene Profiles and Flowering Formation in *Musa acuminata* subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert, Sulist. & Poerba In Silico. Supervised by I MADE ARTIKA, RAHADIAN PRATAMA, and FAJARUDIN AHMAD

Fusarium wilt, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), poses a serious threat to global banana production, particularly the difficult-to-control *Fusarium* TR4. The damage caused not only reduces crop yields but also impacts economic sustainability and food security in banana-producing countries. *Musa acuminata* subsp. *sumatrana*, one of Indonesia's native germplasms, possesses morphological and genetic characteristics that hold potential as a source of superior alleles for disease resistance and high productivity. This research aims to reveal the genomic profile of *M. acuminata* subsp. *sumatrana* through a Whole Genome Sequencing (WGS) approach and identify genes involved in disease resistance and flowering regulation.

DNA samples were extracted and sequenced using PromethION and Illumina NovaSeq 6000. Genome characterization using QC, Flye, Medaka, Pilon, Braker3, and Funannotate annotation on [UseGalaxy.eu](https://usegalaxy.eu). Protein domain identification was performed using InterProScan with the Pfam, HMMER3, and CDD databases. Phylogenetic analysis was conducted using MEGA11, and protein interactions and GO enrichment were analyzed through STRING-DB.

WGS results indicated that the genome of *M. acuminata* subsp. *sumatrana* consists of 51,358 genes, including 4,885 annotated genes and 44,729 hypothetical genes, reflecting high complexity and genetic diversity. The domain identification results found 28 resistance genes, including *TGAL1* (bootstrap value 100), which is closely related to RGA1 associated with resistance to Black Sigatoka. A total of 16 proteins were classified under the category "Response to Stimulus" (GO:0050896; signal 0.35; FDR: 0.0153), indicating involvement in biological responses with low association. The domain identification results identified 18 flowering genes, including AGL11, SOC1, and AGL12, that interact with the RS2 gene, as well as five additional genes in the "Flower Development" category (GO:0009908; signal 1.81; FDR: 6.88×10^{-8}). High signal values indicate a strong biological connection, while a tiny FDR indicates a high level of significance, making these results statistically valid. Some of the genes identified in this study have not been previously reported, making them a potential source of new genes, although further analysis is still required.

Keywords: Flowering regulation, hybrid assembly, plant immunity, WGS, wild banana



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 2025
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.

**IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI PROFIL
GEN RESISTENSI DAN FORMASI PEMBUNGAAN PADA
Musa acuminata subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert,
Sulist. & Poerba SECARA *IN SILICO***

DEWI RAHMAWATI

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

**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:

1. Dr. Dani Satyawan, M.S

Judul Tesis : Identifikasi dan Karakterisasi Profil Gen Resistensi dan Formasi Pembungaan pada *Musa acuminata* subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert, Sulist. & Poerba secara *In Silico*

Nama : Dewi Rahmawati

NIM : G8501231004

Disetujui Oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. I Made Artika, M.App.Sc.



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



Pembimbing 3:
Dr. Fajarudin Ahmad, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Syamsul Falah, S.Hut, M.Si
NIP. 197005032005011001



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam:

Dr. Berry Juliandi, S.Si, M. Si
NIP. 19780723200701001



Tanggal Ujian: Rabu, 20 Agustus 2025

Tanggal Lulus:



@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 ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah yang berjudul “Identifikasi dan Karakterisasi Profil Gen Resistensi dan Formasi Pembungaan pada *Musa acuminata* subsp. *sumatrana* (Becc.) Ahmad, Volkaert, Sulist. & Poerba secara *In Silico*” dengan baik. Karya ilmiah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Proses penyusunan karya ilmiah ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. I Made Artika, M.App.Sc, selaku ketua komisi pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi motivasi kepada penulis dalam menyusun karya ilmiah ini.
2. Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si. M.Si, selaku dosen pembimbing kedua yang telah membantu secara khusus pada bagian analisis bioinformatika, serta memberikan masukan teknis yang sangat berarti bagi kelancaran penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini.
3. Dr. Fajarudin Ahmad, M.Si, selaku dosen pembimbing ketiga yang telah memberikan kesempatan, bimbingan, arahan serta fasilitas selama proses penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini, serta wawasan mendalam terkait objek penelitian.
4. Seluruh dosen dan staf di Program Studi Biokimia, FMIPA, IPB yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama masa studi.
5. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberikan dukungan dan sumber daya penelitian yang sangat berharga.
6. Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan dukungan dan fasilitas yang dibutuhkan selama proses penyusunan proposal ini.
7. Orang tua dan keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, semangat, serta dukungan moral maupun material.
8. Rekan-rekan seperjuangan selama menempuh studi dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan moral dan material.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Bogor, Agustus 2025

Dewi Rahmawati



@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 ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	3
1.7 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Musa acuminata</i> Colla	4
2.1.2 <i>Musa acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	4
2.2 <i>Fusarium Oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> TR4	5
2.4 Mekanisme Pertahanan Tanaman Terhadap Infeksi Patogen	6
2.5 Gen Resistensi	7
2.6 Formasi Pembungaan	9
III METODE PENELITIAN	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Penelitian	11
3.4 Identifikasi Domain	13
IV HASIL	15
4.1 Hasil Karakterisasi Genom <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	15
4.2 Hasil Identifikasi Profil Gen Resistensi	15
4.3 Hasil Identifikasi Formasi Pembungaan	19
V PEMBAHASAN	23
5.1 Karakterisasi Genom <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	23
5.2 Profil Gen Resistensi <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	25
5.2 Formasi Pembungaan	27
VI SIMPULAN DAN SARAN	33
6.1 Simpulan	33
6.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	43



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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 TABEL

1	Kualitas data hasil QC PromethION menggunakan UseGalaxy.eu	15
2	Hasil anotasi genom menggunakan Braker3 dan FunAnnotate	15
3	Daftar kandidat gen resistensi pada <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	16
4	Daftar kandidat gen pembungaan pada <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	19

DAFTAR GAMBAR

1	Morfologi <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i> (Ahmad 2021)	5
2	Skema interaksi PRRs dan NLRs dalam imunitas bawaan tanamam	7
3	Model struktural dari pasangan NLR tipe sentinel–decoy	8
4	Morfologi tandan, bunga, buah dan biji <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	9
5	Regulasi molekuler dari proses pembentukan bunga (Maple <i>et al.</i> 2024)	10
6	Pohon filogenetik dari gen (SYP32, KINB1, ARF1, TGAL1, LSI3)	17
7	Hasil interaksi protein pertahanan (31 protein; 202 interaksi, $p < 1.0e-16$)	18
8	Hasil proses biologi protein pertahanan	18
10	Analisis filogenetik gen <i>AGL11</i> , <i>SOC1</i> , dan <i>AGL12</i>	20
11	Interaksi protein “Perkembangan Bunga” (GO:0009908, 9 protein)	21
12	Proses biologis gen pembungaan	22
13	Mekanisme regulasi formasi pembungaan pada pisang (<i>Musa</i> spp.)	22

DAFTAR LAMPIRAN

1	Bagan Alir Penelitian	44
2	Interaksi protein protein pertahanan (RLP, RLK dan CNL)	45
3	Interaksi protein protein pertahanan (RLP, RLK, dan CNL) dengan tambahan domain WRKY untuk memperkuat prediksi.	46
4	Karakterisasi gen MYB dalam genome <i>M. acuminata</i> subsp. <i>sumatrana</i>	47
5	Interaksi Protein dalam Formasi Pembungaan	48
6	Hasil Biologi proses dari Pengayaan GO dari Formasi Pembungaan	49