



- 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.

KARAKTERISASI GENOM DAN IDENTIFIKASI GEN RESISTENSI *LEUCINE-RICH REPEAT* TERHADAP PATOGEN PADA *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (MEIJER) M. HOTTA

TAMIMAH SHAFWATUL ISHLAH



PROGRAM STUDI BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN 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 “Karakterisasi Genom dan Identifikasi Gen Resistensi *Leucine-Rich Repeat* terhadap Patogen pada *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta” 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

Tamimah Shafwatul Ishlah
G8501231011

- 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

TAMIMAH SHAFWATUL ISHLAH. Karakterisasi Genom dan Identifikasi Gen Resistensi *Leucine-Rich Repeat* terhadap Patogen pada *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta. Dibimbing oleh I MADE ARTIKA, RAHADIAN PRATAMA dan FAJARUDIN AHMAD

Pisang merupakan salah satu buah yang paling banyak dikonsumsi di dunia. Akan tetapi adanya penyakit oleh patogen menyebabkan kerugian yang signifikan pada proses pembudidayaan. *Leucine-Rich Repeat* (LRR) yang dikodekan oleh gen resistensi merupakan domain protein yang berperan dalam sistem imun bawaan (*innate immune*) terhadap patogen. Identifikasi gen resistensi pada pisang liar diharapkan dapat membantu pembudidayaan pisang kultivar yang tahan terhadap penyakit. Akan tetapi penelitian gen resistensi belum dilakukan pada pisang liar *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi genom dan mengidentifikasi gen resistensi LRR beserta mekanisme pertahanannya pada pisang liar *M. acuminata* subsp. *halabanensis*. Pada data mentah *sequence Oxford Nanopore Technologies* (ONT) dan Illumina dilakukan kualitas kontrol, perakitan (*hybrid assembly*) dan anotasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses perakitan pada *sequence* ONT dan pemolesan menggunakan *sequence* Illumina mampu meningkatkan kualitas *sequence* dengan nilai *Q-score* >30 mencapai 90,12%. Proses perakitan menghasilkan 9.693 *contig* dengan total ukuran genom pisang mencapai 437.161.969 bp. Anotasi fungsional mengidentifikasi 16 gen yang tergolong pada kelompok LRR yaitu *lrr1*, *bak1_1,4,5*, *bri1_1-4*, *ghr1_1,2,4*, *pir1_1,3,4,6* dan *serk4*. Adapun mekanisme pertahanan dalam melawan patogen ditunjukkan melalui pengaktifan jalur sinyal pertahanan.

Kata kunci : genom, illumina, ONT, resistensi

SUMMARY

TAMIMAH SHAFWATUL ISHLAH. Genome Characterization and Identification of Leucine-Rich Repeat Receptor Genes for Pathogen Resistance in *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta. Supervised by MADE ARTIKA, RAHADIAN PRATAMA and FAJARUDIN AHMAD.

Bananas are one of the most widely consumed fruits in the world. However, pathogenic diseases cause significant losses in cultivation. Leucine-rich repeat (LRR), encoded by resistance genes, is a protein domain that plays a role in the innate immune system against pathogens. Identifying resistance genes in wild bananas is expected to aid in cultivating disease-resistant banana cultivars. However, resistance gene studies have not yet been conducted on the wild banana *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta. This study aimed to characterize the genome and identify LRR resistance genes and their defense mechanisms in *M. acuminata* subsp. *halabanensis*. Quality control was performed on raw sequencing data from Oxford Nanopore Technologies (ONT) and Illumina, followed by sequence hybrid assembly and annotation. The results showed that the hybrid assembly of ONT sequences and polishing with Illumina improved sequence quality, with a Q-score >30 reaching 90,12%. The assembly produced 9.793 contig, with a total banana genome size of 437.161.969 bp. Functional annotation identified 16 genes belonging to the LRR group, including *lrr1*, *bak1_1,4,5*, *bri1_1-4*, *ghr1_1,2,4*, *pir1_1,3,4,6* and *serk4*. The LRR mechanism in pathogen defense was demonstrated by the activation of defense signalling pathways.

Keywords: genome, illumina, ONT, resistance



- 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.

**KARAKTERISASI GENOM DAN IDENTIFIKASI GEN
RESISTENSI *LEUCINE-RICH REPEAT* TERHADAP
PATOGEN PADA *Musa acuminata* subsp. *halabanensis*
(MEIJER) M. HOTTA**

TAMIMAH SHAFWATUL ISHLAH

G8501231011

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

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



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis :
1 Dr. Dani Setyawan, M.S.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis

: Karakterisasi Genom dan Identifikasi Gen Resistensi *Leucine-Rich Repeat* terhadap Patogen pada *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta

Nama

: Tamimah Shafwatul Ishlah

NIM

: G8501231011

@Hak cipta milik IPB University

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. 197807232007011001



Tanggal Ujian :

12 Agustus 2025

Tanggal Pengesahan:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian ini adalah “Karakterisasi Genom dan Identifikasi Gen Resistensi *Leucine-Rich Repeat* terhadap Patogen pada *Musa acuminata* subsp. *halabanensis* (Meijer) M. Hotta” yang dilaksanakan pada bulan Agustus 2024 sampai bulan Mei 2025 dan sebagian penelitian didanai oleh Pusat Riset Botani Terapan, Kawasan Sains dan Teknologi Soekarno, Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. I Made Artika, M.App.Sc. sebagai ketua komisi pembimbing, Dr. rer. nat. Rahadian Pratama, S.Si., M.Si. sebagai anggota komisi pembimbing pertama dan Dr. Fajarudin Ahmad, M.Si. sebagai anggota komisi pembimbing kedua yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada penguji luar komisi, Dr. Dani Setyawan, M.S. dan ketua program studi, Dr. Syamsul Falah, S.Hut., M.Si. Selain itu, ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada papa, mama, oma, serta seluruh keluarga besar M. Appan yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Tamimah Shafwatul Ishlah

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
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 Pisang Liar <i>Musa acuminata</i>	3
2.2 <i>Musa acuminata subsp. halabanensis</i>	4
2.3 Gen Resistensi <i>Leucine Rich Repeat</i> (LRR)	6
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.3.1 QC dan Pemfilteran Data Hasil <i>Sequencing</i>	8
3.3.2 <i>Hybrid Assembly</i> Data <i>Sequence</i> ONT dan Illumina	9
3.3.3 Anotasi dan Karakterisasi Struktur Gen	10
3.3.4 Analisis Gen LRR	10
3.3.5 Analisis Filogenetik	11
3.3.6 Analisis Mekanisme Pertahanan	11
IV HASIL	12
4.1 Karakteristik Data <i>Sequence</i> dan Genom <i>Musa acuminata subsp. halabanensis</i>	12
4.2 Karakteristik Gen Resistensi pengkode LRR	15
4.3 Analisis Filogenetik Gen Resistensi pengkode LRR	20
4.4 Mekanisme Pertahanan oleh Protein berdomain LRR	23
V PEMBAHASAN	24
5.1 Karakteristik Data <i>Sequence</i> dan Genom <i>Musa acuminata subsp. halabanensis</i>	24
5.2 Karakteristik Gen Resistensi pengkode LRR	25
5.3 Analisis Filogenetik Gen Resistensi pengkode LRR	27
5.4 Mekanisme Pertahanan oleh Protein berdomain LRR	28
VI SIMPULAN DAN SARAN	30
6.1 Simpulan	30
6.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	38
RIWAYAT HIDUP	50

DAFTAR TABEL

1	Perbedaan karakteristik hasil QC ONT dan Illumina	14
2	Karakteristik <i>sequence</i> genom setelah <i>polishing</i>	15
3	Gen R pengkode protein kelompok LRR dan keberagaman domain	17
4	Gen pengkode domain LRR dan peranannya	26

DAFTAR GAMBAR

1	Karakteristik perkembangan kuncup bunga jantan <i>M. acuminata</i> subsp. <i>halabanensis</i> .	4
2	Karakter morfologis habitus, tangkai dan daun <i>M. acuminata</i> subsp. <i>halabanensis</i> .	5
3	Karakter morfologis bunga, buah dan biji <i>M. acuminata</i> subsp. <i>halabanensis</i> .	6
4	Skema protein yang dikodekan oleh gen R.	7
5	Struktur protein yang mengandung domain LRR.	7
6	Histogram distribusi fragmen bacaan hasil <i>sequencing</i> pada proses QC.	12
7	Histogram distribusi <i>insert size</i> <i>M. acuminata</i> subsp. <i>halabanensis</i> menggunakan Fastp.	13
8	Grafik kualitas pemfilteran bacaan pada QC data Illumina.	13
9	Grafik <i>base content</i> pada QC data Illumina.	14
10	Kategori COG seluruh protein berdasarkan fungsi biologis dan evolusinya hasil anotasi fungsional.	15
11	Gen resistensi <i>M. acuminata</i> subsp. <i>halabanensis</i> yang berperan secara langsung maupun tidak langsung dalam melawan patogen.	16
12	Pohon filogenetik gen pengkode LRR dan homolognya dengan nilai <i>bootstrap</i> tertinggi pada klad yang sama dengan pisang kultivar.	21
13	Pohon filogenetik gen pengkode LRR dan homolognya dengan nilai <i>bootstrap</i> tertinggi pada klad yang sama dengan pisang liar.	22
14	Mekanisme pertahanan BAK1, SERK4 dan kelompok RLK terhadap patogen.	23

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram Alir Penelitian	39
2	Parameter Analisis	41
3	Nama Protein Penunjang Resistensi	44
4	Pohon Filogenetik	46