



KARAKTERISASI EMPAT KULTIVAR MANGGA (*Mangifera indica L.*) BERDASARKAN SEKUENSING DNA GENOMIK DAN GENOM KLOROPLAS

ALIFAH NUR HAYATI



PROGRAM STUDI MAGISTER AGRONOMI DAN HORTIKULTURA
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

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.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Karakterisasi Empat Kultivar Mangga (*Mangifera indica* L.) berdasarkan Sekuensing DNA Genomik dan Genom Kloroplas” 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

Alifah Nur Hayati

A2502231055

- 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 mengurangi 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.



RINGKASAN

ALIFAH NUR HAYATI. Karakterisasi Empat Kultivar Mangga (*Mangifera indica* L.) berdasarkan Sekuensing DNA Genomik dan Genom Kloroplas. Dibimbing oleh EDI SANTOSA, ROEDHY POERWANTO dan WINARSO DRAJAD WIDODO.

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap karakteristik *draft* genom dan hubungan kekerabatan empat kultivar lokal mangga Indonesia, ‘Gadung 21’, Denarum Agrihorti, ‘Manalagi 69’, dan ‘Garifta Merah’. Sekuensing genom dengan teknologi *Oxford Nanopore*, genom *assembly* menggunakan *Flye*, serta analisis terhadap genom kloroplas. Proses *assembly* diikuti dengan anotasi fungsional terhadap berbagai *database* (nt-NCBI, nr-NCBI, SwissProt, TrEMBL, dan UniProt). Anotasi berbasis Gene Ontology (GO) melalui DAVID Bioinformatics mengindikasikan terdeteksinya sejumlah gen dengan fungsi biologis penting pada masing-masing kultivar.

Genom kloroplas dari ‘Gadung 21’, Denarum Agrihorti, dan ‘Manalagi 69’ memperlihatkan struktur kuadripartit yang konservatif, dengan ukuran berkisar antara 157.735–157.746 bp dan kandungan GC sekitar 38%. Genom kloroplas ‘Garifta Merah’ hanya tersusun sebagian (86.866 bp) tanpa deteksi lengkap wilayah SSC dan IR, menunjukkan data parsial akibat cakupan sekuens yang rendah. Anotasi genom plastid mengidentifikasi 110 gen fungsional, terdiri atas 77 gen penyandi protein, 29 tRNA, dan 4 rRNA. Variasi struktural teridentifikasi pada batas wilayah inverted repeat (IR), panjang intron, jumlah kodon, komposisi asam amino, dan distribusi SSR.

Analisis filogenetik berbasis data genom kloroplas menggunakan metode *maximum likelihood* dengan model TVM+F+G4 dan 10.000 *ultrafast bootstrap* mengelompokkan seluruh kultivar ke dalam klade *M. indica*, dengan pembentukan sub-klaster yang mencerminkan kedekatan genetik dan kemungkinan perbedaan asal-usul domestikasi.

Kata kunci: Sekuensing *long-read*, genom kloroplas, anotasi fungsional, filogenetik, SSR.



SUMMARY

ALIFAH NUR HAYATI. *Whole Genome and Chloroplast-Based Characterization of Mango (*Mangifera indica L.*) Varieties*. Supervised by EDI SANTOSA, ROEDHY POERWANTO and WINARSO DRAJAD WIDODO.

This study aimed to characterize the draft genome and assess the phylogenetic relationships of four local Indonesian mango cultivars, 'Gadung 21', 'Denarum Agrihorti', 'Manalagi 69', and 'Garifta Merah'. Whole-genome sequencing was conducted using Oxford Nanopore technology, followed by genome assembly with Flye and chloroplast genome analysis. Functional annotation against several databases (nt-NCBI, nr-NCBI, SwissProt, TrEMBL, and UniProt) revealed high sequence similarity. Annotation based on Gene Ontology (GO) using DAVID Bioinformatics indicated the detection of several genes with important biological functions in each cultivar.

The chloroplast genomes of 'Gadung 21', 'Denarum Agrihorti', and 'Manalagi 69' exhibited a conserved quadripartite structure, with genome sizes ranging from 157,735 to 157,746 base pairs and a GC content of approximately 38 percent. 'Garifta Merah' displayed a partially assembled genome of 86,866 base pairs lacking complete SSC and IR regions, likely due to low sequencing coverage. Plastid genome annotation identified 110 functional genes, including 77 protein-coding genes, 29 tRNA genes, and 4 rRNA genes. Structural variations were observed in the IR boundaries, intron lengths, codon usage, amino acid composition, and the distribution of simple sequence repeats.

*Phylogenetic analysis based on chloroplast genome sequences using the Maximum Likelihood method with the TVM+F+G4 model and 10,000 ultrafast bootstrap replicates grouped all cultivars within the *M. indica* clade. Sub-cluster formation reflected close genetic relationships and suggested possible differences in domestication history.*

Keywords: Long-read sequencing, chloroplast genome, functional annotation, phylogenetic relationship, SSR.



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 2025¹

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.



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 EMPAT KULTIVAR MANGGA
(*Mangifera indica L.*) BERDASARKAN SEKUENSING DNA
GENOMIK DAN GENOM KLOROPLAS**

ALIFAH NUR HAYATI

Tesis
sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Agronomi Dan Hortikultura

**PROGRAM STUDI MAGISTER AGRONOMI DAN HORTIKULTURA
FAKULTAS PERTANIAN
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.

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Dr. Sintho Wahyuning Ardie, S.P, M.Si.



Judul Tesis

: Karakterisasi Empat Kultivar Mangga (*Mangifera indica* L.) berdasarkan Sekuensing DNA Genomik dan Genom Kloroplas
: Alifah Nur Hayati
: A2502231055

Nama

Pembimbing 1 :
Prof. Dr. Edi Santosa, S.P., M.Si.

Pembimbing 2 :
Prof. Dr. Ir. Roedhy Poerwanto, M.Sc.

Pembimbing 3 :
Ir. Winarso Drajad Widodo, M.S., Ph.D.

Disetujui oleh

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Agronomi dan Hortikultura
Prof. Dr. Ani Kurniawati, S.P., M.Si.
NIP. 196911131994032001

Dekan Fakultas Pertanian :
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr
NIP. 196902121992031003

Tanggal Ujian : 6 Agustus 2025

Tanggal Lulus : 21 AUG 2025

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 mengurangi 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.



PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala atas segala rahmat, taufik, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul 'Karakterisasi Empat Kultivar Mangga (*Mangifera indica* L.) Berdasarkan Sekuensing DNA Genomik dan Genom Kloroplas" dengan baik.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Edi Santosa, S.P., M.Si. selaku Ketua Komisi Pembimbing, serta Prof. Dr. Ir. Roedhy Poerwanto, M.Sc. dan Ir. Winarso Drajad Widodo, M.S., Ph.D., selaku anggota komisi pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan dalam penyusunan usulan penelitian ini.
2. (Alm.) Dr. Deden Derajat Matra, S.P., M.Agr., selaku dosen pembimbing penulis sejak jenjang sarjana hingga magister, atas dedikasi dan ilmunya yang tak ternilai.
3. Kedua orang tua, Bapak Surono Abdul Hadi dan Ibu Sri Lestari, serta seluruh keluarga atas doa, kasih sayang, dan dukungan moril yang tiada henti.
4. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Agronomi dan Hortikultura angkatan 2022 dan 2023 yang telah memberikan semangat dan kebersamaan selama proses studi.
5. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pendanaan melalui Program Beasiswa Unggulan Masyarakat Berprestasi 2023.
6. Rekan-rekan *Fruitomics* yang telah membantu dan mendukung proses penelitian ini.
7. Mas Aditya Nugroho, Mas Roiyan, Mba Mutiara, Mba Fitri, Dewi, Sri, Mba Destina dan Pandi, atas bantuan, dukungan, dan kebersamaannya selama proses riset.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan usulan tesis ini.

Penulis memohon agar segala bentuk kebaikan yang diberikan mendapat balasan yang berlipat dari Allah subhanahu wa ta'ala. Akhir kata, semoga penelitian memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta kontribusi nyata dalam bidang agronomi dan hortikultura.

Bogor, Agustus 2025

Alifah Nur Hayati

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 GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanaman Mangga	4
2.2 <i>Whole Genome Sequencing (WGS) Project</i>	5
2.3 Genom Kloroplas	6
III. METODE	8
3.1 Bahan dan Metode	8
3.2 Sekuensing DNA	9
3.3 <i>Whole Genome Data Processing</i>	10
3.4 Analisis Genom Kloroplas	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Perakitan Genom Tanaman Mangga dengan Teknologi <i>Long-reads Oxford Nanopore</i>	13
4.2 Anotasi Fungsional	15
4.3 Analisis <i>Simple Sequence Repeats (SSR)</i>	16
4.4 Analisis Genom Kloroplas	19
V SIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Simpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	39
RIWAYAT HIDUP	56



DAFTAR GAMBAR	
1 Alur Metode Penelitian	8
2 Sebaran Motif SSR pada ‘Gadung 21’	18
3 Grafik Visualisasi sirkular genom kloroplas <i>Mangifera indica</i> yang menunjukkan wilayah LSC, SSC, dan IR, serta posisi gen penyandi protein, tRNA, dan tRNA	19
4 Perbandingan struktur batas wilayah LSC/IRb, IRb/SSC, SSC/IRa, dan IRa/LSC pada genom kloroplas kultivar mangga	23
5 Distribusi panjang ekson dan intron pada gen-gen yang mengandung intron di genom kloroplas <i>M. indica</i> (ref)	24
6 Distribusi asam amino pada genom kloroplas <i>M. indica</i> referensi dan empat kultivar lokal (‘Gadung 21’, ‘Denarum Agrihorti’, ‘Manalagi 69’, dan ‘Garifta Merah’).	26
7 Distribusi motif Simple Sequence Repeats (SSR) pada genom kloroplas	27
8 Pohon filogenetik berdasarkan genom kloroplas	28

DAFTAR TABEL

1 Hasil pengukuran konsentrasi dan kemurnian DNA	9
2 Statistik dari <i>raw data long-reads</i> empat kultivar mangga menggunakan <i>platform Oxford Nanopore</i>	13
3 Total panjang reads dan nilai <i>coverage</i> rata-rata untuk masing-masing kultivar	14
4 Parameter assembly menggunakan Flye v2.9	14
5 Anotasi fungsional assembly mangga berdasarkan hasil pencocokan terhadap berbagai basis data	15
6 Parameter identifikasi SSR dari hasil sekvensi genom mangga	17
7 Jenis motif SSR yang terdeteksi pada masing-masing kultivar	18
8 Ukuran total, struktur daerah, dan kandungan gc dalam genom kloroplas empat kultivar mangga	20
9 Komposisi gen kloroplas pada masing-masing kultivar	21
10 Daftar gen yang teranotasi dalam genom kloroplas mangga	21
11 Distribusi keberadaan intron pada gen kloroplas empat kultivar mangga	23
12 Komposisi kodon penyandi asam amino di dalam genom kloroplas	25

DAFTAR LAMPIRAN

1 Daftar kemunculan gen pada <i>Gene Ontology</i> (GO) dari keempat kultivar mangga yang diamati	40
2 Distribusi motif SSR pada setiap kultivar	50
3 Gen kloroplas yang terdeteksi dari keempat kultivar dibandingkan dengan referensi	51



4 Distribusi panjang ekson dan intron pada gen-gen yang mengandung intron di genom kloroplas	52
5 Nilai <i>Relative Synonymous Codon Usage</i> (RSCU) pada Genom Kloroplas	54

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.