

ANALISIS KOMPARASI DAN VARIASI SNP PADA GENOM KLOROPLAS *Elaeis guineensis* UNTUK PENGEMBANGAN MARKA SNAP

INDRI GITA LESTARI



**PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN
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.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Analisis Komparasi dan Variasi SNP pada Genom Kloroplas *Elaeis guineensis* untuk Pengembangan Marka SNAP” 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

Indri Gita Lestari
A2503221003



@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.

RINGKASAN

INDRI GITA LESTARI. Analisis Komparasi dan Variasi SNP pada Genom Kloroplas *Elaeis guineensis* untuk Pengembangan Marka SNAP. Dibimbing oleh SUDARSONO, AZIS NATAWIJAYA dan MEGAYANI SRI RAHAYU.

Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan tanaman tahunan (perennial) yang tumbuh di daerah tropis di bawah intensitas cahaya yang tinggi dan dapat menghasilkan sepuluh kali lipat minyak dibanding minyak lainnya dalam skala per hektar maupun per tahun. *Elaeis guineensis* (kelapa sawit afrika) secara luas telah dibudidayakan di berbagai wilayah dunia dan kelapa sawit ini berasal dari wilayah Afrika. Genom kloroplas memiliki keunikan tersendiri yang menjadikannya target ideal untuk pengembangan marka genetik. Genom ini bersifat relatif kecil yang berkisar antara 120.000 hingga 160.000 bp, berstruktur stabil, serta diwariskan secara uniparental (biasanya maternal), yang memungkinkan analisis yang lebih sederhana dan konsisten dibandingkan genom inti. Selain itu, kloroplas memiliki peran penting dalam fotosintesis dan metabolisme energi tanaman, sehingga informasi genetiknya sangat relevan untuk memahami adaptasi dan performa tanaman. Variasi genom kloroplas pada beberapa tanaman lainnya telah dimanfaatkan untuk analisis filogenetik, identifikasi varietas, serta pelacakan keturunan (*maternal lineage*).

Penelitian ini terdiri dari dua percobaan yaitu komparasi genom kloroplas *Elaeis guineensis* dan desain serta uji validasi marka SNAP. Percobaan pertama terdiri dari anotasi genom kloroplas, analisis komparatif genom kloroplas, analisis filogenetik, dan analisis haplotipe. Percobaan kedua terdiri dari kuantitas dan distribusi *single nucleotide polymorphisms* (SNP). Desain marka SNAP dilakukan dengan website WASP (*Web-based Allele Specific Primer*) (<https://bioinfo.biotech.or.th/WASP>) dengan menggunakan parameter *default* dan uji validasi primer dilakukan dengan Geneious Prime 2025.0.3 versi 21 dan analisis DARwin (*Dissimilarity Analysis and Representation for windows*).

Komparasi genom kloroplas pada 30 akses *Elaeis guineensis* menunjukkan hasil rentang panjang genom yaitu 156.973 bp (D20183623) hingga 156.987 bp (AP947). Berdasarkan pohon filogenetik menunjukkan bahwa *Elaeis guineensis* berkerabat sangat dekat dengan *Cocos nucifera* yang berada pada satu sub kluster dengan nilai bootstrap 100, dibandingkan dengan *Phoenix dactylifera* dan *Arenga pinnata*. Wilayah *coding* ditemukan sebanyak 22 SNP dan wilayah *non-coding* ditemukan sebanyak 38 SNP. 6 desain primer yang telah ditemukan telah terbukti dapat digunakan dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi pengembangan penanda marka molekular SNAP. Uji validasi menghasilkan pohon filogenetik dengan menunjukkan akses asal Afrika dan Amerika Tengah membentuk sub-kluster yang jelas terpisah, sehingga secara genetik mereka berbeda secara signifikan dari mayoritas akses asal Indonesia.

Kata kunci: filogenetik, genom kloroplas, kelapa sawit, SNAP, SNP



SUMMARY

INDRI GITA LESTARI. Comparative and SNP Variation Analysis of *Elaeis guineensis* Chloroplast Genome for SNAP Marker Development. Supervised by SUDARSONO, AZIS NATAWIJAYA dan MEGAYANI SRI RAHAYU.

Oil palm (*Elaeis guineensis*) is a perennial plant that grows in tropical regions under high light intensity and can produce ten times more oil than other oils. *Elaeis guineensis* (African oil palm) has been widely cultivated in various regions of the world and this oil palm originates from Africa. The chloroplast genome has unique characteristics that make it an ideal target for genetic marker development. This genome is relatively small, ranging from 120,000 to 160,000 base pairs (bp), has a stable structure, and is inherited uniparentally (typically maternally), enabling simpler and more consistent analysis compared to the nuclear genome. Additionally, chloroplasts play a crucial role in photosynthesis and plant energy metabolism, making their genetic information highly relevant for understanding plant adaptation and performance. Variations in chloroplast genomes of other plants have been utilized for phylogenetic analysis, variety identification, and maternal lineage tracking.

This study consists of two experiments, a comparison of the chloroplast genomes of *Elaeis guineensis* and the design and validation of SNAP markers. The first experiment includes chloroplast genome annotation, comparative chloroplast genome analysis, phylogenetic analysis, and haplotype analysis. The second experiment involves the quantification and distribution of single nucleotide polymorphisms (SNP). The design of SNAP markers was performed using the WASP (Web-based Allele Specific Primer) website (<https://bioinfo.biotec.or.th/WASP>) with default parameters, and primer validation was conducted using Geneious Prime 2025.0.3 version 21 and DARwin analysis (Dissimilarity Analysis and Representation for Windows).

Comparison of chloroplast genomes in 30 accessions of *Elaeis guineensis* showed a genome length range of 156,973 bp (D20183623) to 156,987 bp (AP947). Based on the phylogenetic tree, *Elaeis guineensis* is closely related to *Cocos nucifera*, which is in the same subcluster with a bootstrap value of 100, compared to *Phoenix dactylifera* and *Arenga pinnata*. A total of 22 SNP were found in the coding region and 38 SNP in the non-coding region. The six primer designs identified have been proven to be effective in enhancing the accuracy and efficiency of SNAP molecular marker development. Validation testing produced a phylogenetic tree showing that accessions from Africa and Central America form a clearly distinct subcluster, indicating that they are genetically significantly different from the majority of accessions from Indonesia.

Keywords: chloroplast genome, oil palm, phylogenetics, SNAP, SNP



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 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.

ANALISIS KOMPARASI DAN VARIASI SNP PADA GENOM KLOROPLAS *Elaeis guineensis* UNTUK PENGEMBANGAN MARKA SNAP

INDRI GITA LESTARI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman

**PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN
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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

- 1 Dr. Ir. Diny Dinarti, M.Si.
- 2 Prof. Dr. Dewi Sukma, SP., M.Si.



Judul Tesis : Analisis Komparasi dan Variasi SNP pada Genom Kloroplas
Elaeis guineensis untuk Pengembangan Marka SNAP

Nama : Indri Gita Lestari
NIM : A2503221003

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Sudarsono, M.Sc.

Pembimbing 2:
Dr. Azis Natawijaya, SP., M.Si.

Pembimbing 3:
Dr. Ir. Megayani Sri Rahayu, M.S.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Dewi Sukma, SP., M.Si.
NIP 197004041997022001

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

Tanggal Ujian:
11 Agustus 2025

Tanggal Lulus: 27 AUG 2025



IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

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 Agustus 2024 sampai bulan Mei 2025 ini ialah “Analisis Komparasi dan Variasi SNP pada Genom Kloroplas *Elaeis guineensis* untuk Pengembangan Marka SNAP”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Sudarsono, M.Sc., Dr. Azis Natawijaya, SP., M.Si., dan Dr. Ir. Megayani Sri Rahayu, SP., M.S selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dedikasinya serta membimbing, memberi arahan dan masukan kepada penulis hingga karya tulis ilmiah ini selesai.
2. PT Bumitama Gunajaya Agro yang telah memberikan proyek serta dana penelitian dan membantu hingga menyelesaikan penelitian ini.
3. (alm.) Bapak (Muhammad Yunus) dan Ibu (Bibit Lilik Lestari), serta segenap keluarga besar yang telah memberikan semangat, dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama proses menyelesaikan studi magister.
4. Staf Laboratorium PMB I IPB Bu Susi dan Pak Agus beserta rekan-rekan Laboratorium PMB I Pak Edyson, Pak Redi, Mas Andy, Mas Roiyan, Mas Adit, Kak Umi, Sachio, Shania, Ikhsan, Riris, Bowo, Ali yang telah memberikan bantuan, dukungan, masukan dan saran selama menyelesaikan penelitian.
5. Sahabat-sahabat terkasih yang telah banyak memberikan waktu, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian tesis: Mas Yogi, Bela, Linda, Kak Putri, Feriska, Endang, Elvin, Risna, Bunga, Kak Selviani.
6. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama pelaksanaan penelitian, hingga tesis ini dapat diselesaikan. Semoga Allah membalas kebaikan rekan-rekan semua.

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

Bogor, Agustus 2025

Indri Gita Lestari





DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kelapa Sawit	5
2.2 Keragaman Genetik	7
2.3 Genom Kloroplas	8
2.4 Bioinformatika	9
2.5 <i>Single Nucleotide Polymorphism</i> (SNP)	10
2.6 <i>Single Nucleotide Amplified Polymorphism</i> (SNAP)	11
2.7 Haplotipe	12
III KOMPARASI GENOM KLOROPLAS 30 AKSESI KELAPA SAWIT (<i>Elaeis guineensis</i>)	14
3.1 Abstrak	14
3.2 Pendahuluan	14
3.3 Bahan dan Metode	14
3.4 Hasil dan Pembahasan	14
3.5 Simpulan	14
IV IDENTIFIKASI SNP, DESAIN, DAN UJI VALIDASI MARKA SNAP	38
4.1 Abstrak	38
4.2 Pendahuluan	38
4.4 Bahan dan Metode	39
4.4 Hasil dan Pembahasan	40
4.4 Simpulan	47
V PEMBAHASAN UMUM	48
VI SIMPULAN DAN SARAN	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	60
RIWAYAT HIDUP	71



DAFTAR TABEL

1	Kategori gen dalam genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	18
2	Lokasi dan panjang exon dan intron gen pada genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	20
3	Informasi genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	23
4	Jumlah gen pada kelompok gen aksesori <i>Elaeis guineensis</i>	25
5	Persentase (%) basa nukleotida pada struktur genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	26
6	Frekuensi basa nukleotida pada struktur genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	27
7	Jumlah RSCU (<i>Relative Synonymous Codon Usage</i>) pada genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	28
8	Nilai RSCU (<i>Relative Synonymous Codon Usage</i>) pada genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	30
9	Haplotipe yang terbentuk dari aksesori <i>Elaeis guineensis</i> dengan aplikasi NETWORK	35
10	Desain marka SNAP dari WASP	42

DAFTAR GAMBAR

1	Ruang lingkup penelitian	4
2	Kelapa sawit tipe dura, pisifera, dan tenera	6
3	Diagram sirkular genom kloroplas <i>Elaeis guineensis</i>	22
4	Pohon filogenetik aksesori <i>Elaeis guineensis</i> dan kelompok palmae	33
5	Jejaring haplotipe berdasarkan jenis kelapa sawit pada aksesori <i>Elaeis guineensis</i> dengan aplikasi NETWORK	36
6	Jejaring haplotipe berdasarkan <i>origin</i> aksesori <i>Elaeis guineensis</i> dengan aplikasi NETWORK	36
7	Kuantitas dan Distribusi SNP dan InDel pada <i>Elaeis guineensis</i>	41
8	Titik SNP pada desain marka SNAP	43
9	Validasi SNAP primer 1 dengan Geneious Prime	44
10	Validasi SNAP primer 2 dengan Geneious Prime	45
11	Validasi SNAP primer 3 dengan Geneious Prime	45
12	Validasi SNAP primer 4a dengan Geneious Prime	45
13	Validasi SNAP primer 4b dengan Geneious Prime	45
14	Validasi SNAP primer 5 dengan Geneious Prime	45
15	Validasi SNAP primer 6a dengan Geneious Prime	46
16	Validasi SNAP primer 6b dengan Geneious Prime	46
17	Visualisasi pita hasil uji validasi marka SNAP pada primer 6	45
18	Pohon filogenetik hasil uji validasi marka SNAP pada <i>Elaeis guineensis</i> dengan analisis DARwin	46
19	Jejaring haplotipe NETWORK hasil skoring marka SNAP	47



DAFTAR LAMPIRAN

1	Kuantitas dan distribusi SNP wilayah <i>coding</i>	61
2	Hasil uji validasi primer SNAP menggunakan Geneious Prime	62
3	Visualisasi pita hasil uji validasi marka SNAP	64
4	Tabel skoring hasil uji validasi marka SNAP aksesori asal Indonesia	68
5	Tabel skoring hasil uji validasi marka SNAP aksesori asal Afrika-Amerika	69
6	Data haplotipe NETWORK hasil skoring marka SNAP	70