



ANALISIS KERAGAMAN DAN FILOGENETIK GENOM LENGKAP MITOKONDRIA PADA SAPI MADURA

NAILAH KHAIRUNNISA



ILMU PRODUKSI DAN TEKNOLOGI PETERNAKAN
FAKULTAS PETERNAKAN
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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Analisis Keragaman dan Filogenetik Genom Lengkap mitokondria pada Sapi Madura” 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 2026

Nailah Khairunnisa
D1501251043



RINGKASAN

NAILAH KHAIRUNNISA. Analisis Keragaman dan Filogenetik Genom Lengkap Mitokondria pada Sapi Madura. Dibimbing oleh JAKARIA dan ANIK BUDHI DHARMAYANTHI.

Sapi madura merupakan rumpun sapi lokal Indonesia yang memiliki nilai penting sebagai sumber daya genetik ternak, komoditas sapi potong, serta identitas sosial budaya masyarakat Madura. Meningkatnya persilangan dengan bangsa sapi eksotik berpotensi mengancam keragaman genetik sapi madura. Informasi genetik sapi madura juga masih terbatas karena kajian sebelumnya umumnya menggunakan marka parsial mitokondria. Oleh karena itu, analisis genom mitokondria lengkap diperlukan untuk memperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai karakteristik genom, keragaman genetik, dan hubungan kekerabatan maternal sapi madura.

Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi genom mitokondria lengkap sapi madura yang berasal dari Balai Besar Inseminasi Buatan Singosari, Malang, menggunakan *long-read Oxford Nanopore Technology* (ONT), serta mengungkap keragaman genetik dan hubungan filogenetiknya dengan bangsa sapi lain. Sampel yang digunakan berupa darah dari lima pejantan sapi Madura dari Balai Besar Inseminasi Buatan (BBIB) Singosari, Malang, Jawa Timur. Tahapan penelitian meliputi ekstraksi DNA, amplifikasi genom mitokondria, sekuensing, analisis bioinformatika, anotasi genom, analisis AT/GC-skew, *Relative Synonymous Codon Usage* (RSCU), analisis struktur sekunder tRNA, analisis jarak genetik, dan rekonstruksi pohon filogenetik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa genom mitokondria sapi madura memiliki panjang 16.338–16.451 (akses GenBank ID PZ509169) pasang basa dan tersusun atas 37 gen, yaitu 13 gen penyandi protein, 22 gen tRNA, dua gen rRNA, serta satu daerah kontrol atau D-loop. Struktur genom, susunan gen, penggunaan kodon, komposisi nukleotida, pola AT/GC-skew, dan struktur tRNA menunjukkan karakter umum mitogenom vertebrata. Rekonstruksi filogenetik menunjukkan bahwa sapi madura membentuk dua klaster maternal, yaitu klaster yang berdekatan dengan *Bos javanicus* dan klaster yang berdekatan dengan *Bos indicus*. Temuan ini menunjukkan bahwa sapi madura memiliki latar belakang maternal yang kompleks. Informasi genom mitokondria lengkap ini dapat menjadi data dasar untuk konservasi, pengelolaan sumber daya genetik, dan program pemuliaan sapi madura berbasis genomik.

Kata kunci: Filogenetik, Genom mitokondria, Keragaman genetik, ONT, Sapi madura



SUMMARY

NAILAH KHAIRUNNISA. Analysis of Genetic Diversity and Phylogenetics of the Complete Mitochondrial Genome in Madura Cattle. Supervised by JAKARIA, and ANIK BUDHI DHARMAYANTHI.

Madura cattle are a local breed from Indonesia, valued as a genetic resource, beef source, and cultural symbol for the Madurese community. Rising crossbreeding with foreign breeds risks reducing their genetic diversity. Moreover, existing genetic data on Madura cattle are limited, as prior research mainly focused on partial mitochondrial markers. Consequently, a full mitochondrial genome analysis is essential to gather detailed insights into their genomic features, genetic variation, and maternal lineage.

This study aimed to analyze the complete mitochondrial genome of Madura cattle from the Singosari National Artificial Insemination Center in Malang. Using long-read *Oxford Nanopore Technology*, it also aimed to explore genetic diversity and phylogenetic relationships with other cattle breeds. Blood samples from five Madura bulls were collected for this purpose. The research involved DNA extraction, mitochondrial genome amplification, sequencing, bioinformatics analysis, genome annotation, AT/GC-skew analysis, Relative Synonymous Codon Usage, secondary tRNA structure examination, genetic distance calculation, and phylogenetic tree construction.

The mitochondrial genome of Madura cattle ranges from 16,338 to 16,451 base pairs (ID GenBank access PZ509169) and contains 37 genes: 13 protein-coding, 22 tRNA, two rRNA, and a control region or D-loop. Its genome structure, gene organization, codon usage, nucleotide composition, AT/GC-skew pattern, and tRNA structure display the typical GC skew pattern, and the tRNA structure aligns with characteristics common to vertebrate mitogenomes. Phylogenetic analysis revealed two maternal lineages for Madura cattle one closely related to *Bos javanicus* and another to *Bos indicus* suggesting a complex maternal ancestry. This complete mitochondrial genome data provides a valuable resource for conservation, genetic resource management, and genomic-assisted breeding programs for Madura cattle.

Keywords: genetic diversity, mitochondrial genome, ONT, phylogenetics, Madura cattle.



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 2026¹
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.

ANALISIS KERAGAMAN DAN FILOGENETIK GENOM LENGKAP MITOKONDRIA PADA SAPI MADURA

NAILAH KHAIRUNNISA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister sains pada
Program Studi Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan

**ILMU PRODUKSI DAN TEKNOLOGI PETERNAKAN
FAKULTAS PETERNAKAN
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 Tesis:

- 1 Prof. Dr. Ir. Ronny Rachman Noor, M.Rur.Sc.



Judul Tesis : Analisis Keragaman dan Filogenetik Genom Lengkap Mitokondria pada Sapi Madura
Nama : Nailah Khairunnisa
NIM : D1501251043

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Jakaria, S.Pt., M.Si.

Pembimbing 2:
Anik Budhi Dharmayanthi, S.Si., PhD.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Cece Sumantri, M.Sc.
NIP 19591212 198603 1 004

Dekan Fakultas Peternakan:
Prof. Dr. Ir. Idat Galih Permana, M.Sc. Agr.
NIP 19670506 199103 1 001

Tanggal Ujian: (Senin, 27 Juli 2026)

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2025 sampai Juni dengan judul “Analisis Keragaman dan Filogenetik Genom Lengkap Mitokondria pada Sapi Madura”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing Prof. Dr. Jakaria, S.Pt., M.Si., dan Ibu Anik Budhi Dharmayanthi, S.Si., Ph.D., yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Astari Apriantini, S.Gz., M.Sc. sebagai dosen moderator, dan penguji luar komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Ronny Rachman Noor, M.Rur.Sc. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Kak Shelvi, S.Si., Bapak Saiful Anwar, S.Pt., M.Si., Kak Yayi Gamma Mari Bonawati, S.Pt., M.Si., dan Dr. Ir. Panca Andes Hendrawan, S.Pt., M.T., IPP. yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta kakak yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Di samping itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga ABGSCi, sahabat, yang selalu memberikan saran selama penelitian berlangsung, terima kasih kepada sahabat, teman-teman sinergi itp 58, serta rekan tim penelitian yang telah membantu penulis selama pengumpulan data.

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

Bogor, Agustus 2026

Nailah Khairunnisa

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sapi Madura	3
2.2 Genom Mitokondria	3
2.3 <i>Oxford Nanopore Technology</i>	4
III METODE	5
3.1 <i>Ethical Clearance</i>	5
3.2 Waktu dan Tempat	5
3.3 Materi	5
3.4 Prosedur Kerja	6
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
4.1 Struktur dan Karakteristik Genom Mitokondria Sapi Madura	9
4.2 Komposisi AT-Skew dan GC-Skew	11
4.3 Analisis <i>Relative Synonymous Codon Usage</i> (RSCU)	12
4.4 Struktur Sekunder tRNA	13
4.5 Analisis Filogenetik dan Jarak Genetik	14
5.1 Simpulan	19
5.2 Saran	19
DAFTAR PUSTAKA	20
LAMPIRAN	26
RIWAYAT HIDUP	31



DAFTAR TABEL

1	Identitas individu sampel sapi madura dari BBIB Singosari yang	7
2	Referensi sekuen lengkap genom mitokondria bangsa sapi dari	8
3	Struktur dan karakteristik total genom mitokondria sapi madura	11
4	Jarak genetik sapi madura dan bangsa sapi pembandingan dari GenBank berdasarkan genom total mtDNA (diagonal bawah) dan	17

DAFTAR GAMBAR

1	Visualisasi sirkular total genom mitokondria sapi madura	11
2	Diagram alir penelitian	6
3	Visualisasi sirkular total genom mitokondria sapi madura	10
4	Grafik AT-Skew dan GC-Skew pada 13 CDS sapi madura	12
5	RSCU gen pengkode mtDNA (PCGs) sapi madura	13
6	Struktur sekunder 22 tRNA sapi madura	14
7	Pohon filogenetik sapi madura berdasarkan total genom mitokondria	15

DAFTAR LAMPIRAN

1	Nilai Relative Synonymous Codon Usage (RSCU) dan jumlah kodon pada sekuen genom mitokondria sapi madura	28
2	Nilai AT-skew dan GC-skew gen penyandi protein mitokondria sapi madura	30
3	Komposisi nukleotida genom mitokondria sapi madura dan bangsa sapi pembandingan	31