



**PROGRAM STUDI PRIMATOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



FITRYANA RAHAYU

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 mengikuti 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 “Dinamika dan Karakterisasi Distribusi Suhu Tubuh Kukang (*Nycticebus* spp.) dengan Menggunakan Metode Non-invasif Citra Termal” 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

Fitryana Rahayu
P0503211006



FITRYANA RAHAYU. Dinamika dan Karakterisasi Distribusi Suhu Tubuh Kukang (*Nycticebus* spp.) dengan Menggunakan Metode Non-invasif Citra Termal. Dibimbing oleh HUDA SHALAHUDIN DARUSMAN dan PUJI RIANTI.

Citra termal terbukti menjadi pendekatan non-invasif yang bernalih dalam mendeskripsikan distribusi panas tubuh permukaan kukang (*Nycticebus* spp.) di pusat rehabilitasi, karena mampu menampilkan gambaran spasial suhu tubuh secara utuh tanpa menimbulkan stres tambahan bagi satwa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa area fasial, abdomen, dan aksila merupakan bagian tubuh dengan akumulasi panas tertinggi, dan kamera termal FLIR menghasilkan nilai suhu yang lebih tinggi serta lebih bervariasi dibandingkan pengukuran dengan termometer inframerah yang terbatas pada satu titik.

Rentang suhu fisiologis kukang sehat di lingkungan *ex situ* tercatat cukup lebar (32–37,5 °C), sehingga belum dapat dijadikan standar baku, namun dapat berfungsi sebagai acuan awal skrining kesehatan. Analisis menunjukkan adanya tren peningkatan suhu tubuh dari sore hingga pagi hari yang konsisten dengan ritme sirkadian satwa nokturnal, sementara faktor spesies dan jenis kelamin tidak memberikan perbedaan signifikan, meskipun terdapat indikasi interaksi lemah antara jenis kelamin dan zona waktu. Uji korelasi dan regresi juga menunjukkan bahwa *body condition score* (BCS) dan berat badan tidak berpengaruh signifikan terhadap suhu permukaan tubuh, meskipun penggabungan data ini tetap penting dalam konteks pemantauan fisiologis. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan potensi kamera termal sebagai alat monitoring kesehatan kukang yang praktis, sensitif, dan non-invasif di pusat rehabilitasi, sekaligus menggarisbawahi perlunya penelitian lanjutan dengan kalibrasi lebih ketat, pengendalian faktor lingkungan, serta cakupan individu yang lebih luas agar dapat memperkuat dasar ilmiah penentuan rentang suhu normal dan mendukung penerapan klinis secara lebih akurat.

Kata kunci: citra termal, kukang, suhu tubuh, kesejahteraan hewan, non-invasif



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.



SUMMARY

FITRYANA RAHAYU. Thermal Distribution Dynamics in Slow Lorises (*Nycticebus* spp.) Using a Non-invasive Infrared Imaging Approach. Supervised by HUDA SHALAHUDIN DARUSMAN and PUJI RIANTI.

*Thermal imaging has proven to be a valuable non-invasive approach for describing the surface body heat distribution of slow lorises (*Nycticebus* spp.) in rehabilitation centers, as it provides a comprehensive spatial representation of body temperature without causing additional stress to the animals. The findings show that the facial, abdominal, and axillary regions represent the primary sites of heat accumulation, and that FLIR thermal cameras record higher and more variable temperature values compared to infrared thermometers, which are limited to single-spot measurements.*

The physiological temperature range of healthy slow lorises in ex situ conditions was relatively broad (32–37.5 °C), thus not yet suitable as a definitive standard but useful as an initial reference for health screening. Analysis further revealed a consistent increase in body temperature from evening to morning, in line with the circadian rhythm of nocturnal species, while species and sex factors showed no significant differences, although a weak interaction between sex and time zone was suggested. Correlation and regression tests also indicated that body condition score (BCS) and body weight did not significantly influence surface body temperature, although integrating these parameters remains important in physiological monitoring. Overall, this study underscores the potential of thermal imaging as a practical, sensitive, and non-invasive tool for monitoring the health of slow lorises in rehabilitation settings, while highlighting the need for further research with stricter calibration, better control of environmental variables, and a wider sample coverage to strengthen the scientific basis for defining normal temperature ranges and to support more accurate clinical applications.

Keywords: thermal imaging, slow loris, body temperature, animal welfare, non-invasive

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.

© 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.



**DINAMIKA DAN KARAKTERISASI DISTRIBUSI SUHU
TUBUH KUKANG (*Nycticebus spp.*) DENGAN
MENGGUNAKAN METODE NON-INVASIF CITRA TERMAL**

FITRYANA RAHAYU

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

**PROGRAM STUDI PRIMATOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
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.



Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1 Dr. drh. Sri Rahmatul Laila, S.K.H.

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.



Judul Tesis : Dinamika dan Karakterisasi Distribusi Suhu Tubuh Kukang (*Nycticebus spp.*) dengan Menggunakan Metode Non-invasif Citra Termal
Nama : Fitryana Rahayu
NIM : P0503211006

Disetujui oleh



Pembimbing 1:

Prof. Dr. drh. Huda Shahaludin Darusman, M.Si

Pembimbing 2:

Dr. Puji Rianti, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh



Ketua Program Studi:

Prof. Dr. drh. Huda Shahaludin Darusman, M.Si
NIP. 19790622 200501 1001



Dekan Sekolah Pascasarjana:

Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc., F.Trop.
NIP. 19700329 199608 1001

Tanggal Ujian: 11 Agustus 2025

Tanggal Lulus: **11 AUG 2025**



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 Februari hingga April 2024 ini ialah konservasi, biomedis, dan biologi dengan judul “Dinamika dan Karakterisasi Distribusi Suhu Tubuh Kukang (*Nycticebus spp.*) dengan Menggunakan Metode Non-invasif Citra Termal”.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Prof. Dr. drh. Huda S. Darusman, M.Si., selaku Ketua Komisi Pembimbing dan Dr. Puji Rianti, S.Si., M.Si., selaku Anggota Komisi Pembimbing yang telah bersabar dan melapangkan hati dalam membimbing, memberi saran, dan juga memotivasi penulis menyelesaikan seluruh rangkaian tugas akhir. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Lis Rosmanah, S.Si., M.Si., selaku Sekretaris Program Studi Primatologi yang telah memotivasi serta memberikan dukungan mental kepada penulis untuk menyelesaikan studi.

Terima kasih kepada Pusat Rehabilitasi Satwa Yayasan Inisiasi Alam Rehabilitasi Indonesia (PRS YIARI) Bogor yang telah memberikan izin dan dukungan untuk melakukan penelitian; kepada drh. Nur Purba Priambada, drh Imam Arifin, dan drh Indri Saptorini serta seluruh staff PRS YIARI atas kesediaannya berkolaborasi dan membantu selama proses penelitian; kepada Ibu Nurjayanti selaku tenaga kependidikan Program Studi Primatologi yang telah membantu administrasi; kepada drh. Yumni Khairina Ghassani dan drh. Wendi Prameswari selaku rekan yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama penelitian dan masa studi.

Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada Rido Utomo, S.Pd., Lukman Handoyo S.Kep., Ns., M.Kep., Sp.Kep.K., Silviani Agustina Passat, S.Pd., Caya Zahwa Sifana, Yasmin S.Pd., Tafhana Ashadia Mina, Utari Breeshakha Medina, dan Vathia Shanara Qian Macca selaku keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan materil kepada penulis untuk menyelesaikan studinya; kepada Sasha Sepasthika Suryometaram S.Si., M.Sc., Virjean Pricilia S.Si., M.M., dan Juliana Nurrakhmi S.E.Sy., yang telah bersedia membagi waktu dan tenaga untuk mendukung mental penulis selama masa studi.

Ucapan terima kasih dan rasa sayang yang mendalam penulis sampaikan kepada almarhumah ibunda tercinta, Hj. Inengsih. Almarhumah senantiasa menjadi sumber cinta, keteladanan, dan kekuatan dalam setiap langkah hidup penulis. Doa dan kasih sayangnya yang tidak pernah putus menjadi bekal utama bagi penulis untuk memulai studi magister dan terus mengejar cita-cita. Semangat dan nilai-nilai yang beliau tanamkan akan selalu hidup dan menyertai setiap perjalanan penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan tempat terbaik di sisi-Nya untuk almarhumah.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi penulis dan hasil penelitian yang dilakukan dapat memberikan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan konservasi kukang di Indonesia.

Bogor, Agustus 2025

Fitryana Rahayu



DAFTAR ISI

| | |
|--|----|
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | ix |
| Hak cipta milik IPB University II | |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup | 3 |
| 1.6 Hipotesis | 3 |
| 1.7 Kerangka Pemikiran | 4 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Kukang | 5 |
| 2.2 Kesejahteraan Satwa | 5 |
| 2.3 Kesehatan dan Suhu Tubuh Kukang | 6 |
| 2.4 Citra Termal | 8 |
| METODE PENELITIAN | 9 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 9 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 9 |
| 3.3 Prosedur Kerja | 10 |
| 3.4 Analisis data | 12 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 13 |
| 4.1 Analisis Deskriptif Suhu Permukaan Tubuh Kukang | 13 |
| 4.2 Distribusi Panas Tubuh Permukaan Kukang | 14 |
| 4.3 Perbandingan Metode FLIR One dan Termometer Inframerah | 14 |
| 4.4 Rentang Suhu Normal dan Ambang Klinis Abnormal | 16 |
| 4.5 Tren Kenaikan Suhu Berdasarkan Zona Waktu | 17 |
| 4.6 Korelasi Suhu Antar Bagian Tubuh | 18 |
| 4.7 Perbandingan Suhu Antar Spesies dan Jenis Kelamin | 18 |
| 4.8 Interaksi Suhu Tubuh | 19 |
| 4.9 Hubungan Suhu Permukaan Tubuh dengan BCS dan Berat Badan | 20 |
| SIMPULAN DAN SARAN | 21 |
| 5.1 Simpulan | 21 |
| 5.2 Saran | 21 |
| DAFTAR PUSTAKA | 23 |
| LAMPIRAN | 26 |
| RIWAYAT HIDUP | 28 |



| | | |
|---|--|----|
| 1 | Jumlah kukang dikelompokkan berdasarkan spesies dan jenis kelamin | 9 |
| 2 | Waktu pengambilan data citra termal | 10 |
| 3 | Area pengambilan citra termal menggunakan FLIR One | 11 |
| 4 | Statistik deskriptif suhu permukaan tubuh kukang (<i>Nycticebus</i> spp.) | 13 |
| 5 | Statistik deskriptif dan hasil uji beda suhu permukaan tubuh kukang pada tiga bagian tubuh berdasarkan zona waktu | 17 |
| 6 | Korelasi antar bagian tubuh (Spearman) | 18 |
| 7 | Uji interaksi suhu tubuh berdasarkan spesies, jenis kelamin, zona waktu, dan bagian tubuh menggunakan <i>Two Way ANOVA</i> | 19 |
| 8 | Regresi linear berganda untuk suhu permukaan tubuh (fasial, abdomen, dan aksila) terhadap BCS dan berat badan | 20 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Kerangka pemikiran penelitian | 4 |
| 2 | Diagram alir penelitian | 10 |
| 3 | Citra termal kukang | 14 |
| 4 | Scatter plot sederhana perbandingan suhu fasial kukang menggunakan FLIR One dengan termometer inframerah | 15 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Lampiran 1 <i>User interface (UI) FLIR Ignite</i> | 27 |
| 2 | Lampiran 2 Data BCS dan berat badan kukang | 27 |



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.



I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kukang (*Nycticebus* spp.) merupakan primata nokturnal dari subordo Strepsirrhini yang tergolong dalam kelompok prosimian. Kukang tersebar di hutan tropis Asia, termasuk Indonesia. Kukang memiliki ciri khas pergerakan yang lambat dan bersifat soliter (Wirdateti 2004). Enam dari sembilan spesies kukang yang dikenal secara global terdapat di Indonesia dan dua di antaranya, yakni kukang jawa (*Nycticebus javanicus*) dan kukang sumatra (*Nycticebus coucang*) menghadapi ancaman serius terhadap kelestariannya. Berdasarkan *International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List*, kukang jawa berstatus *Critically Endangered (CE)* atau kritis, sementara kukang sumatra berstatus *Vulnerable (VU)* atau rentan (Nekaris dan Streicher 2020a; 2020b).

Populasi kukang tetap mengalami penurunan meskipun telah dilindungi melalui regulasi nasional dan konvensi internasional. Hal tersebut terjadi karena konversi habitat, perburuan, dan perdagangan ilegal kukang sebagai satwa peliharaan. Perlakuan pada kukang dalam proses perdagangan seperti pencabutan gigi taring atau penempatan di kandang yang sempit menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan dan kesejahteraan kukang (Nekaris *et al.* 2020)

Untuk mengatasi dampak tersebut, kukang hasil sitaan atau temuan dari perdagangan ilegal umumnya akan menjalani proses rehabilitasi di fasilitas *ex situ* sebelum dikembalikan ke habitat alaminya melalui program reintroduksi. Rehabilitasi bertujuan memulihkan kondisi fisik dan perilaku alami satwa agar memiliki kelayakan hidup di alam liar (Nekaris *et al.* 2014). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem (2023), satwa sitaan, temuan, maupun rampasan yang berstatus sebagai barang bukti dapat disalurkan ke lembaga konservasi *ex situ* seperti Lembaga Konservasi Tujuan Khusus (LTKK) maupun lembaga penangkaran untuk menjalani perawatan lanjut.

Pemantauan parameter fisiologis dalam konteks perawatan di lingkungan *ex situ* menjadi sangat penting untuk menilai kesehatan dan kesejahteraan satwa. Selain suhu tubuh, kondisi fisiologis juga dapat ditinjau melalui parameter lain seperti *body condition score* (BCS) dan berat badan yang mencerminkan status nutrisi dan metabolisme satwa. Kondisi BCS dan berat badan berperan penting dalam penilaian status nutrisi dan kesehatan, serta dapat dikaitkan dengan parameter fisiologis suhu tubuh. Studi terbaru oleh Ghassani *et al.* (2024) menegaskan bahwa BCS merupakan salah satu indikator praktis untuk memantau kesejahteraan kukang selama proses rehabilitasi. Oleh karena itu, meskipun BCS dan berat badan memberikan informasi penting, suhu tubuh tetap menjadi parameter kunci yang perlu diteliti lebih lanjut.

Pengukuran suhu tubuh dapat memberikan informasi dasar mengenai kondisi kesehatan hewan. Namun demikian, hingga saat ini belum tersedia standardisasi referensi suhu tubuh normal kukang di lingkungan rehabilitasi. Ketiadaan data ini menyulitkan dalam interpretasi kondisi fisiologis individu, terlebih dalam konteks evaluasi kesejahteraan satwa. Pengukuran suhu tubuh satwa merupakan parameter fisiologis penting dalam menilai status kesejahteraan satwa, khususnya dalam kerangka *five domains* (Mellor 2020).



Metode pengukuran suhu tubuh dengan menggunakan termometer rektal telah lama digunakan sebagai metode dasar dan akurat, akan tetapi bersifat invasif karena memerlukan penanganan langsung dan dapat menimbulkan stres pada satwa (Sikoski *et al.* 2007; Long *et al.* 2011). Metode alternatif yang lebih ramah satwa adalah dengan menggunakan pendekatan non-invasif seperti termometer inframerah ataupun pencitraan termal (*thermal imaging*). Kedua metode tersebut memungkinkan pengukuran suhu tubuh tanpa kontak langsung sehingga lebih ramah pada satwa (Pizzi *et al.* 2015), bahkan teknologi citra termal kini semakin banyak digunakan untuk pemantauan suhu tubuh dan kondisi fisiologis satwa liar maupun satwa dalam rehabilitasi (McCafferty 2007; McCafferty *et al.* 2011; Nekaris *et al.* 2020).

Selain mengetahui suhu tubuh normal, pemahaman mengenai distribusi panas tubuh kukang juga memiliki nilai penting karena dapat membantu menentukan area pengukuran yang konsisten dan representatif. Hingga saat ini, belum diketahui distribusi persebaran panas tubuh kukang yang dapat dijadikan acuan untuk titik pengambilan suhu tubuh. Pencitraan termal menjadi pendekatan non-invasif yang mampu memvisualisasikan suhu permukaan tubuh sekaligus mengidentifikasi titik pengukuran yang konsisten dan representatif (Mellor 2020; Nekaris *et al.* 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi dinamika dan distribusi suhu permukaan tubuh kukang menggunakan metode pencitraan termal serta membandingkannya dengan hasil pengukuran termometer inframerah serta mempertimbangkan pentingnya nilai informasi suhu tubuh dan distribusi panas pada kukang yang diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mendukung aspek kesehatan dan kesejahteraan kukang di fasilitas *ex situ*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini difokuskan untuk memahami dinamika dan distribusi suhu permukaan tubuh kukang (*Nycticebus spp.*) di lingkungan rehabilitasi *ex situ* melalui pendekatan non-invasif menggunakan metode pencitraan termal. Permasalahan dirumuskan dengan mempertimbangkan kebutuhan data fisiologis, terutama suhu tubuh yang representatif untuk mendukung evaluasi kesehatan dan kesejahteraan kukang.

Adapun pertanyaan penelitian yang ingin dijawab adalah:

1. Bagaimana citra distribusi suhu permukaan tubuh kukang berdasarkan hasil pencitraan termal?
 2. Bagaimana perbandingan hasil pengukuran suhu tubuh kukang menggunakan pencitraan termal dan termometer inframerah?
 3. Bagaimana rentang suhu permukaan tubuh kukang sehat di lingkungan rehabilitasi?
 4. Bagaimana pola variasi suhu tubuh permukaan kukang berdasarkan waktu pengukuran?
 5. Apakah terdapat perbedaan suhu antara bagian tubuh, spesies, dan jenis kelamin kukang?
 6. Bagaimana interaksi antara spesies, jenis kelamin, zona waktu, dan bagian tubuh dalam memengaruhi suhu permukaan tubuh kukang?
- Bagaimana hubungan suhu permukaan tubuh dengan BCS dan berat badan kukang?



1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan citra distribusi panas tubuh permukaan kukang (*Nycticebus* spp.) melalui pencitraan termal, sekaligus membandingkannya dengan hasil pengukuran menggunakan termometer inframerah. Penelitian juga berfokus pada penentuan rentang suhu tubuh normal kukang sehat di lingkungan *ex situ* (rehabilitasi), mengkaji variasi suhu tubuh permukaan berdasarkan perbedaan waktu pengambilan, perbedaan antarbagian tubuh, spesies, dan jenis kelamin, serta interaksi di antara faktor-faktor tersebut. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis hubungan antara suhu permukaan tubuh dengan BCS dan berat badan untuk menilai potensi citra termal sebagai sarana pemantauan fisiologis kukang secara non-invasif.

1.4 Manfaat

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode pemantauan fisiologis satwa liar melalui pendekatan non-invasif berbasis pencitraan termal. Informasi mengenai sebaran suhu permukaan tubuh, titik pengukuran yang representatif, dan rentang suhu normal kukang (*Nycticebus* spp.) di lingkungan rehabilitasi *ex situ* diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam penilaian kondisi fisiologis dan kesejahteraan satwa. Secara aplikatif, hasil penelitian ini berpotensi dimanfaatkan oleh dokter hewan, perawat satwa, dan pengelola lembaga konservasi dalam pemantauan suhu tubuh secara efisien, serta mendukung penyusunan standardisasi lingkungan dan strategi konservasi yang berbasis bukti ilmiah.

1.5 Ruang Lingkup

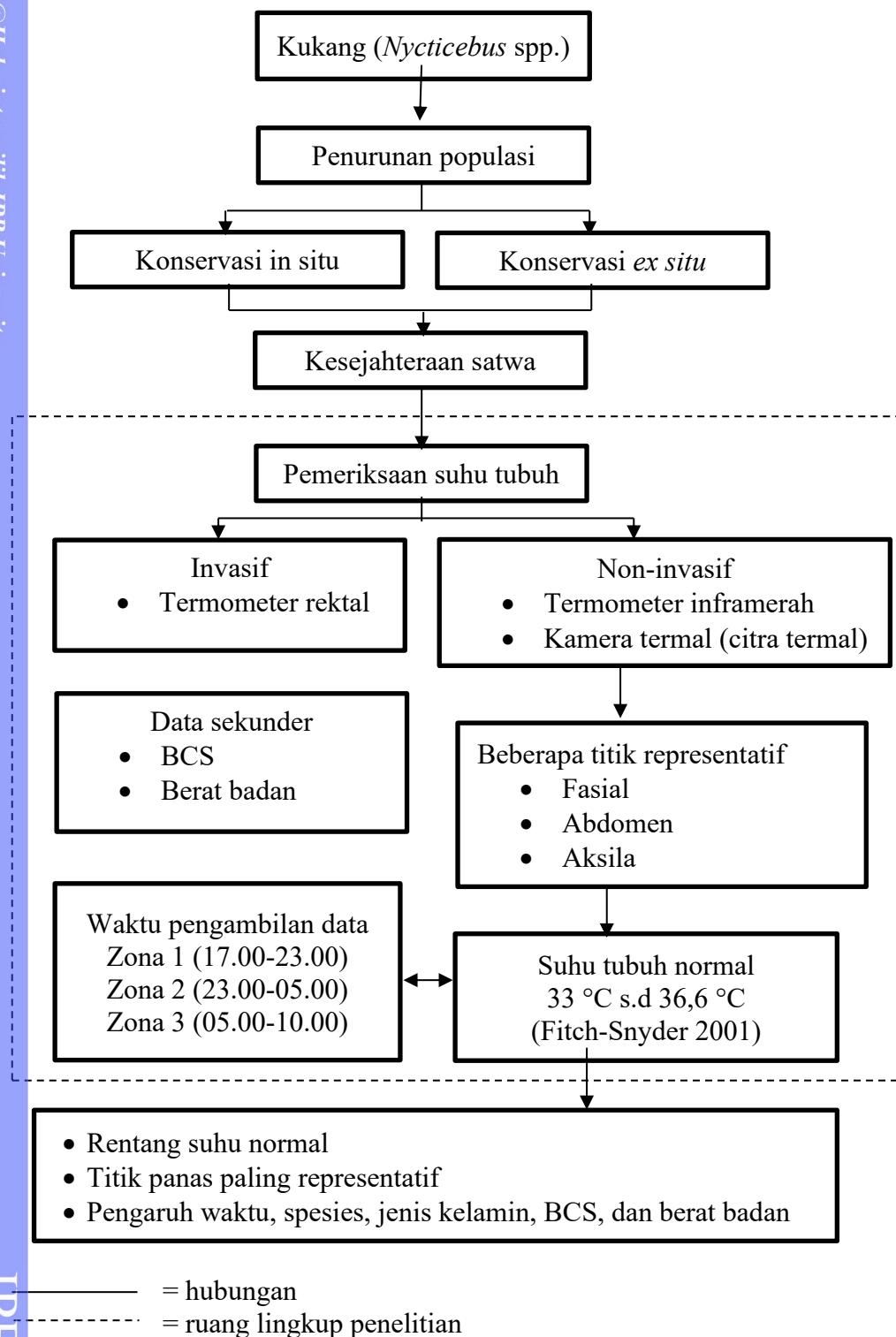
Penelitian ini memiliki fokus untuk menentukan jangkauan suhu tubuh normal kukang dan sebaran panas tubuh kukang dengan metode non-invasif berdasarkan prinsip kesejahteraan satwa yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan *ex situ*.

1.6 Hipotesis

1. Pengukuran suhu tubuh menggunakan kamera termal menghasilkan cakupan area yang lebih luas dan nilai suhu yang lebih bervariasi dibandingkan pengukuran dengan termometer inframerah.
2. Citra suhu tubuh permukaan dapat digunakan untuk menentukan titik pengukuran yang representatif pada tubuh kukang.
3. Suhu permukaan tubuh kukang menunjukkan variasi pada waktu pengukuran yang berbeda.
4. Terdapat perbedaan suhu tubuh berdasarkan spesies, jenis kelamin, dan permukaan antara bagian tubuh kukang (fasial, abdomen, dan aksila) berdasarkan hasil pengukuran dengan kamera termal.
5. Suhu permukaan tubuh kukang berkorelasi dengan BCS dan berat badan.

1.7 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian (Gambar 1) disusun untuk menggambarkan alur logis dari permasalahan hingga tujuan penelitian.



Gambar 1 Kerangka pemikiran penelitian



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kukang

Kukang (*Nycticebus* spp.) termasuk ke dalam kelompok primata Prosimian dan keluarga Lorisidae yang terdiri atas tiga genus, yaitu *Nycticebus*, *XanthoNycticebus*, dan *Loris* (Napier dan Napier 1985; Groves 2001). Genus *Nycticebus* terdiri atas delapan spesies, yaitu *N. begalensis*, *N. coucang*, *N. javanicus*, *N. menagensis*, *N. kayan*, *N. bancanus*, *N. borneanus*, dan *N. hillieri* (EAZA lorisidae). Kukang jawa (*Nycticebus javanicus*) merupakan primata endemik yang hanya ditemukan di Pulau Jawa. Kukang sumatra (*Nycticebus coucang*) dapat ditemukan di Sumatra, Batam, Galang (Kepulauan Riau), Pulau Tebingtinggi, dan Bunguran (Kepulauan Natuna) (Supriatna dan Wahyono 2000).

Klasifikasi kukang jawa (*Nycticebus javanicus*) berdasarkan Napier dan Napier (1967 dan 1985) yaitu:

| | | |
|---------|---|---|
| Kingdom | : | Animalia |
| Filum | : | Chordata |
| Kelas | : | Mamalia |
| Ordo | : | Primate |
| Famili | : | Lorisidae |
| Genus | : | <i>Nycticebus</i> |
| Species | : | <i>Nycticebus javanicus</i> (Geoffroy 1812) |

Taksonomi kukang sumatra (*Nycticebus coucang*) berdasarkan Bottcher-Law *et al.* (2001) yaitu:

| | | |
|---------|---|---|
| Kingdom | : | Animalia |
| Filum | : | Chordata |
| Kelas | : | Mamalia |
| Ordo | : | Primate |
| Famili | : | Lorisidae |
| Genus | : | <i>Nycticebus</i> |
| Spesies | : | <i>Nycticebus coucang</i> (Boddaert 1785) |

Kukang jawa dan kukang sumatra merupakan dua spesies yang mengalami ancaman serius pada kelestariannya. Berdasarkan penilaian *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) *Red List*, kukang jawa memiliki status konservasi *Critically Endangered* (CE) atau kritis, sedangkan kukang sumatra berstatus *Vulnerable* (VU) atau rentan (Nekaris dan Streicher, 2020a; 2020b). Kedua spesies tersebut juga tercantum di dalam Appendix I CITES yang melarang segala bentuk perdagangan internasional kecuali untuk kepentingan penelitian dengan izin khusus (CITES 2023). Secara nasional, kukang telah ditetapkan sebagai satwa yang dilindungi melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.106/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2018, dengan dasar hukum Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya (Republik Indonesia 1990; KLHK 2018).

2.2 Kesejahteraan Satwa

Kesejahteraan satwa merupakan konsep yang muncul di abad ke-15 sebagai bentuk kedekatan antara manusia dengan satwa, di mana manusia bertanggung



jawab atas kesejahteraan satwa di sekitarnya. Kesejahteraan satwa pada awalnya dirumuskan oleh *Farm Animal Welfare Council* (FAWC) dalam konsep *five freedoms* yang terdiri atas: (1) bebas dari rasa haus dan lapar; (2) bebas dari rasa tidak nyaman; (3) bebas dari rasa sakit, cidera, dan penyakit; (4) bebas untuk menunjukkan perilaku alami; (5) bebas dari rasa takut dan stress (AWC 2009). Konsep tersebut menjadi tonggak penting untuk memastikan satwa terbebas dari penderitaan. Seiring dengan berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan, konsep tersebut dinilai belum cukup untuk menggambarkan pengalaman positif satwa. Oleh karena itu, Mellor (2020) mengembangkan kerangka *five domains* yang lebih komprehensif, mencangkup aspek nutrisi, lingkungan, kesehatan, perilaku, dan kondisi mental satwa. Model tersebut memungkinkan penilaian tidak hanya terbatas pada pemenuhan kebutuhan dasar, tetapi juga pengalaman subjektif satwa yang memengaruhi kualitas hidup secara menyeluruh.

Domain kesehatan menjadi dasar untuk memberikan penilaian parameter fisiologis pada satwa. Salah satu parameter fisiologis penting yang perlu dimonitor secara berkelanjutan untuk mengetahui atau mendeteksi perubahan fisiologis secara dini adalah suhu tubuh. Satwa sehat yang terbebas dari rasa sakit, cidera, dan penyakit terwujud dari suhu tubuh yang berada di rentang normal. Perubahan suhu tubuh mencerminkan kondisi kesehatan sekaligus kesejahteraan satwa (Hoffmann *et al.* 2013).

Suhu tubuh merupakan kondisi fisiologi yang sensitif terhadap perubahan, dapat dideteksi, dan memiliki keterkaitan terhadap beberapa fungsi penting pada satwa. Fungsi penting tersebut seperti nutrisi, reproduksi, aktivitas, respon terhadap stres, dan tentu saja kondisi kesehatan. Fungsi-fungsi tersebut dapat dinilai melalui monitor rutin pada suhu tubuh satwa (Hoffmann *et al.* 2013). Organisme yang sehat dapat dilihat melalui distribusi suhu yang seimbang pada bagian tubuhnya yang berbeda. Bagian anatomi tubuh yang sama dapat dibandingkan untuk mengidentifikasi bagian yang hangat dan penyebab terjadinya perubahan regulasi panas tubuh dapat diketahui berdasarkan informasi pada beberapa spesies (Bowers *et al.* 2009).

2.3 Kesehatan dan Suhu Tubuh Kukang

Menurut Kleiber (1961), Prosimian umumnya memiliki *basal metabolic rate* (BMR) yang rendah jika dibandingkan dengan mamalia pada umumnya dengan produksi panas basal pada Prosimian lebih rendah 20-60% (Muller 1983). Kukang merupakan primata normotermik yang memproduksi panas basal paling rendah dengan hanya sekitar 40% dari level yang diharapkan (Muller 1975; Whittow *et al.* 1977). Hal tersebut menjadi salah satu alasan kukang masih memiliki beberapa karakteristik seperti satwa yang hidup di lingkungan dingin homeotermis, seperti rambut yang tebal, moncong pendek, telinga kecil, ekor pendek, dan tungkai yang kuat (Muller 1979).

Salah satu kegiatan yang rutin dilakukan pada kukang di pusat rehabilitasi adalah pemeriksaan kesehatan dan salah satunya adalah pemeriksaan suhu tubuh. Pemeriksaan suhu tubuh pada kukang bertujuan untuk mengetahui apakah kukang dalam kondisi yang sehat atau tidak (sakit atau demam). Menurut H. Fitch-Snyder (2001), suhu tubuh normal kukang berkisar antara 33 °C sampai dengan 36,6 °C.



Pemeriksaan suhu tubuh pada kukang umumnya dilakukan dengan menggunakan termometer rektal yang dimasukkan ke dalam anus saat kukang sedang disedasi. Akan tetapi, metode tersebut menimbulkan beberapa kontroversi, diantaranya adalah menimbulkan ketidaknyamanan pada kukang saat termometer dimasukkan ke dalam anus, hasil yang kurang akurat karena termometer sering terkontaminasi feses, dan hasil pembacaan suhu yang kurang presisi. Oleh sebab itu, pengukuran juga bisa dilakukan dengan menggunakan termometer inframerah yang diarahkan ke area di sekitar hidung kukang. Penggunaan termometer inframerah juga mengalami beberapa kendala, diantaranya adalah kurang akuratnya suhu yang terbaca karena area permukaan tubuh kukang yang ditutupi oleh rambut tebal, area hidung yang cenderung basah sering mengakibatkan suhu yang terbaca kurang representatif, dan termometer hanya bisa diarahkan pada satu titik pengukuran dengan jarak 2-10 cm, sehingga tetap harus dilakukan pengendalian (*handling*) terhadap kukang.

Teknologi terbaru menggunakan pencitraan suhu (*thermal imaging*) membuat pengukuran suhu tubuh menjadi mungkin dilakukan dari jarak jauh tanpa perlu pengendalian terhadap satwa, sehingga metode ini bersifat non-invasif. Kelebihan lain dari metode tersebut adalah bisa mendapatkan variasi kontras pada gambaran suhu tubuh (Geiser *et al.* 2006; Johnson *et al.* 2011). Metode pencitraan suhu digunakan untuk mendeteksi perubahan emisiviti pada kulit yang disebabkan oleh adanya pergantian pada aliran darah di permukaan tubuh. Proses aliran darah tersebut dikontrol oleh sistem saraf autonom (Gallese dan Merla 2014).

Kukang merupakan hewan endotermis yang memiliki ukuran tubuh kecil dan mudah mengalami penurunan suhu tubuh (*heat loss*). Hal tersebut dapat terjadi karena hewan berukuran kecil memiliki rasio luas permukaan tubuh yang cukup besar jika dibandingkan dengan volume tubuhnya. Oleh sebab itu, hewan endotermis memerlukan energi yang lebih banyak untuk dapat meningkatkan suhu tubuhnya saat suhu lingkungan mengalami penurunan. Bentuk adaptasi tubuh terhadap perubahan suhu lingkungan yang rendah adalah dengan mengurangi aktivitas fisik untuk mengontrol suhu dan tingkat metabolisme tubuh. Mekanisme tersebut disebut dengan torpor (Geiser 2004).

Penilaian kondisi tubuh satwa juga merupakan komponen penting dalam evaluasi kesehatan dan kesejahteraan, terutama bagi satwa yang menjalani rehabilitasi. Ghassani *et al.* (2023) mengembangkan dan melakukan validasi metode pengukuran BCS pada kukang (*Nycticebus* spp.) sebagai indikator praktis yang dapat digunakan untuk menilai status nutrisi dan kesejahteraan. Indikator BCS memungkinkan penilaian cepat terhadap kondisi tubuh kukang tanpa perlu prosedur invasif. Berat badan dan BCS merupakan indikator kondisi fisiologis yang mencerminkan status nutrisi, metabolisme, serta kesejahteraan satwa. Kedua parameter tersebut menjadi relevan terhadap pengukuran suhu tubuh permukaan kukang karena kondisi tubuh dapat memengaruhi distribusi panas dan respon termoregulasi. Kukang dengan BCS rendah atau berat badan yang kurang mungkin menunjukkan suhu permukaan tubuh yang lebih fluktuatif akibat berkurangnya cadangan energi dan lemak subkutan sebagai insulasi. Sebaliknya, kukang dengan BCS tinggi mungkin cenderung memiliki suhu permukaan tubuh yang lebih stabil, tetapi berisiko mengalami akumulasi panas jika terjadi kelebihan lemak.



Citra Termal

Citra termal adalah sebuah metode pendekatan citra dengan memanfaatkan radiasi panas yang dipancarkan oleh objek. Metode tersebut mampu mengubah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek menjadi citra panas yang dapat dilihat mata. Citra termal memiliki perbedaan dengan citra visual, diantaranya adalah sensor yang digunakan, citra visual menggunakan sensor visual untuk mengakuisisi citra tampak (*visible*) sedangkan citra termal menggunakan sensor termal untuk mengakuisisi sejumlah panas yang diradiasikan oleh objek (Arsatria *et al.* 2020).

Menurut McCafferty (2007), citra termal menggunakan inframerah merupakan metode yang aman dan non-invasif untuk mengetahui pola distribusi panas pada permukaan tubuh. Penggunaannya sangat luas dan bervariasi seperti pada bidang industrial, konstruksi, kepolisian, patroli di perbatasan negara, pengobatan pada manusia, pengobatan pada hewan, kesejahteraan hewan, biologi, dan ekologi. Citra termal pada hewan dapat digunakan dari jarak jauh, sehingga hewan tidak perlu dibius ataupun dikendalikan oleh manusia, sehingga dapat mengurangi tingkat stress pada hewan.

Pengukuran suhu tubuh inti merupakan parameter penting dalam pemeriksaan fisiologis primata, namun metode standar melalui termometer rektal memiliki keterbatasan karena bersifat invasif, memerlukan penahanan atau anestesi, serta dapat menimbulkan stres yang justru memengaruhi hasil pengukuran (Long *et al.* 2011; Sikoski *et al.* 2007). Alternatif yang lebih ramah kesejahteraan satwa adalah penggunaan termometer inframerah, seperti *tympanic thermometer*, yang bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah dari membran timpani, struktur yang memiliki aliran darah langsung dari arteri karotis sehingga representatif terhadap suhu inti.

Penelitian pada monyet tupai menunjukkan bahwa *thermometer tympanic* untuk manusia menghasilkan nilai yang sebanding dengan pengukuran rektal, sehingga dapat dijadikan metode non-invasif yang valid (Long *et al.* 2011). Meski demikian, akurasi termometer inframerah dapat bervariasi antar spesies; misalnya pada monyet ekor panjang, Sikoski *et al.* (2007) melaporkan hasil pengukuran inframerah tidak konsisten dengan suhu rektal. Perkembangan teknologi lebih lanjut menghadirkan citra termal (*infrared thermography*) yang memungkinkan pengukuran suhu permukaan tubuh tanpa kontak sama sekali. Walaupun pada monyet tupai hasilnya masih belum berkorelasi dengan suhu inti (Pizzi *et al.* 2015), metode ini menawarkan potensi besar sebagai teknik monitor yang non-invasif, terutama bila digunakan untuk deteksi perubahan fisiologis secara cepat, berkelanjutan, dan minim stres. Dengan demikian, perbandingan literatur ini memperlihatkan adanya transisi metodologis dari teknik invasif (rektal), menuju teknik non-invasif (termometer inframerah), hingga potensi *hands-off monitoring* melalui kamera termal dalam konteks konservasi dan kesejahteraan primata. Cilulko *et al.* (2013) menyatakan bahwa pencitraan termal tidak hanya bermanfaat dalam memantau kondisi fisiologis, tetapi juga dapat diaplikasikan untuk mendeteksi cedera, inflamasi, hingga mengevaluasi kesejahteraan satwa. Namun, interpretasi hasil pencitraan termal perlu mempertimbangkan faktor eksternal seperti suhu lingkungan, kelembaban, dan keberadaan rambut atau bulu yang dapat memengaruhi akurasi pengukuran.



III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Rangkaian kegiatan penelitian dilakukan selama tiga bulan, dimulai pada Februari hingga April 2024. Proses pengambilan data dilakukan di Pusat Rehabilitasi Satwa (PRS) Yayasan Inisiasi Alam Rehabilitasi Indonesia (YIARI) yang berlokasi di Ciapus, Bogor, Indonesia. Tahapan penelitian meliputi pengambilan data lapangan serta analisis data yang dilanjutkan setelah periode pengumpulan data selesai.

3.2 Alat dan Bahan

Pengamatan dan pengambilan data suhu tubuh dilakukan pada 24 individu kukang yang berada di dalam perawatan PRS YIARI Ciapus (Tabel 1). Kukang ditempatkan pada berbagai jenis kandang semi-natural, meliputi kandang individu, kandang *sanctuary*, dan kandang sosial. Pada kandang *sanctuary* dan sosial, kukang tidak ditempatkan sendirian, melainkan bersama pasangan atau teman satu kandang. Akan tetapi, pengambilan citra termal difokuskan hanya pada kukang yang terhabitasi, yakni individu yang menunjukkan toleransi tinggi terhadap keberadaan peneliti dan tidak menghindar. Ketika peneliti mendekat ke area kandang. Pemilihan kukang tersebut dilakukan untuk meminimalisir stres, karena kukang yang terbiasa dengan kehadiran manusia lebih stabil secara perilaku dibandingkan individu yang responsif menghindar. Selain itu, informasi mengenai suhu tubuh yang diperoleh dengan termometer inframerah dari setiap individu juga dicatat sebagai data pendukung, sesuai dengan catatan pemeriksaan kesehatan rutin oleh tim medis PRS YIARI Ciapus. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian yang dilakukan setelah mendapatkan persetujuan penelitian dari Komisi Pengawasan Kesejahteraan dan Penggunaan Hewan Penelitian, Pengujian, Penangkaran, dan Pendidikan (KPKPHP4), PSSP LPPM-IPB.

Tabel 1 Jumlah kukang dikelompokkan berdasarkan spesies dan jenis kelamin

| Spesies | Jenis kelamin | | Jumlah |
|-----------------|---------------|--------|--------|
| | Jantan | Betina | |
| Kukang Jawa | 6 | 6 | 12 |
| Kukang Sumatera | 6 | 6 | 12 |
| Total | 12 | 12 | 24 |

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera termal FLIR One (iOS) yang terhubung dengan iPad Air. Kamera ini bekerja dengan teknologi dual sensor (*thermal + visible camera*). Kamera memiliki kisaran pengukuran suhu -20°C hingga 120°C dengan sensitivitas termal $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, serta dilengkapi dengan beberapa palet warna yang dapat dipilih untuk memvisualisasikan distribusi panas. FLIR One juga dilengkapi dengan *automatic calibration* melalui *shutter internal* untuk menyegarkan citra secara periodik, tetapi

dalam penelitian ini tidak dilakukan kalibrasi manual sehingga menjadi salah satu keterbatasan penelitian.

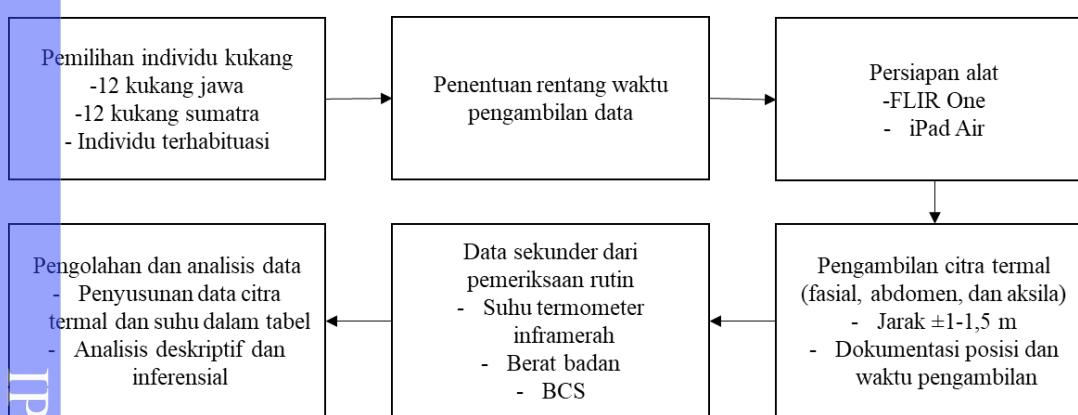
Sebagai pembanding, digunakan termometer inframerah Microlife yang diaplikasikan pada titik pengukuran tertentu (area fasial) sesuai standar pemeriksaan rutin di PRS YIARI Ciapus. Peralatan pendukung lainnya seperti headlamp, jam tangan, jas hujan, lembar dokumentasi dan pengamatan, serta alat tulis. Bahan yang digunakan selama pengambilan data adalah masker medis untuk menjaga higienitas dan mencegah potensi zoonosis.

3.3 Prosedur Kerja pengambilan data suhu kukang dan citra termal

Pengambilan data suhu tubuh dan citra termal kukang dilakukan dengan mengarahkan kamera termal FLIR One pada individu yang telah terhabitasi, dengan jarak pengambilan sekitar 1-1,5 m untuk menjaga akurasi hasil. Data dikumpulkan pada tiga rentang waktu yang berbeda, yaitu sore-malam (17.00-23.00 WIB), malam-pagi (23.00-05.00 WIB), dan pagi-siang (05.00-10.00 WIB), untuk membandingkan kondisi fisiologis saat fase aktif dan pasif kukang (Tabel 2). Selain itu, data sekunder seperti suhu tubuh menggunakan termometer inframerah, BCS dan berat badan dicatat dari kegiatan penimbangan rutin oleh tim medis PRS YIARI yang dilaksanakan setiap bulan pada pukul 10.00-15.00 WIB. Perbedaan waktu pengambilan data dimaksudkan untuk mengevaluasi pengaruh periode aktivitas harian terhadap suhu tubuh kukang serta memberikan Gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi fisiologis dan kesejahteraan satwa di lingkungan rehabilitasi (Gambar 2).

Tabel 2 Waktu pengambilan data citra termal

| Waktu | Keterangan |
|-------------|--------------------|
| 17.00-23.00 | Waktu aktif kukang |
| 23.00-05.00 | Waktu aktif kukang |
| 05.00-10.00 | Waktu pasif kukang |
| 10.00-15.00 | Waktu pasif kukang |



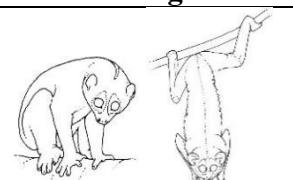
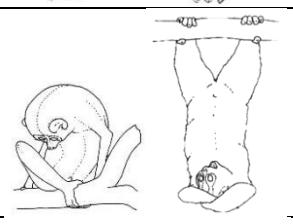
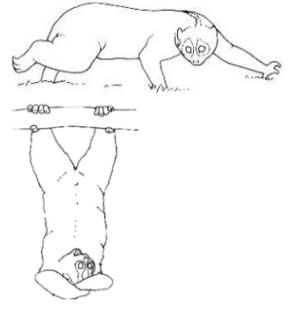
Gambar 2 Diagram alir penelitian

Pengambilan gambar menggunakan kamera termal (Tabel 3) dikhususkan pada tiga area tubuh kukang seperti wajah (fasial), abdomen, dan aksila. Gambar yang diambil pada beberapa pose yang dapat memperlihatkan citra termal tubuh kukang dengan jelas (tidak sedang pose istirahat atau membentuk bola).

Selain itu, pencatatan data suhu tubuh kukang juga dilakukan dengan menggunakan termometer inframerah saat penimbangan atau pemeriksaan kesehatan rutin. Pengukuran suhu dilakukan dengan mengarahkan termometer inframerah ke bagian hidung dengan jarak kurang dari 30 cm dan prosesnya dilakukan oleh tim dokter hewan dan perawat satwa PRS YIARI.

Data sekunder BCS dan berat badan diperoleh dari rekam medik PRS YIARI, Ciapus Bogor untuk setiap individu kukang yang sama dengan subjek penelitian pencitraan termal. Penilaian BCS mengikuti protokol penilaian yang telah divalidasi oleh Ghassani *et al.* (2024). Nilai BCS berkisar dari 1 (sangat kurus) hingga 5 (sangat gemuk). Data tersebut kemudian digunakan untuk dianalisis hubungannya dengan suhu permukaan tubuh yang diperoleh melalui pencitraan termal dan termometer inframerah.

Tabel 3 Area pengambilan citra termal menggunakan FLIR One

| Area | Keterangan | Contoh referensi gambar |
|---------|---|---|
| Fasial | Bola mata, lubang telinga, dan hidung |  |
| Abdomen | Perut sampai batas ekstrimitas belakang (area lipatan ekstrimitas belakang) |  |
| Ketiak | Aksila dan area di sekitarnya |  |



3.4 Analisis data

3.4.1 Analisis citra termal

Citra termal yang diperoleh pada penelitian ini dianalisis menggunakan fitur pengolahan gambar yang tersedia pada platform *Ignite FLIR*. Setiap citra dianalisis dengan menandai titik-titik tubuh tertentu (fasial, abdomen, dan aksila) yang telah ditentukan berdasarkan panduan morfologi visual dalam spektrum inframerah. Titik-titik tersebut dipilih secara konsisten berdasarkan tampilan warna dan intensitas termal tertinggi, dengan mempertimbangkan sudut pengambilan dan posisi tubuh kukang.

3.4.2 Analisis statistika

Data numerik suhu tubuh kukang yang diperoleh selama penelitian akan dianalisa secara kuantitatif untuk mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan nilai galat, dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan RStudio. Data suhu tubuh kukang juga akan dibandingkan dengan data lain seperti spesies, jenis kelamin, suhu lingkungan, kelembaban, dan waktu pengambilan suhu tubuh, dengan menggunakan analisis regresi untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan pada variabel tersebut dan mengetahui ada tidaknya perbedaan dari setiap individu dengan variabel yang berbeda.

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 mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Deskriptif Suhu Permukaan Tubuh Kukang

Analisis suhu permukaan tubuh pada kukang (*Nycticebus* spp.) dilakukan terhadap tiga bagian tubuh utama, yaitu wajah, abdomen, dan aksila. Berdasarkan hasil dari 135 pengamatan menggunakan kamera termal (FLIR), diperoleh statistik deskriptif sebagai berikut: suhu fasial rata-rata $33,64 \pm 1,80$ °C, suhu abdomen rata-rata $33,17 \pm 2,17$ °C, serta suhu aksila rata-rata $33,24 \pm 2,13$ °C (Tabel 4).

Tabel 4 Statistik deskriptif suhu permukaan tubuh kukang (*Nycticebus* spp.)

| Bagian tubuh | Rata-rata (°C) | Standar deviasi (SD) | Minimum (°C) | Maksimum (°C) | Jumlah sampel (n) |
|--------------|----------------|----------------------|--------------|---------------|-------------------|
| Fasial | 33,64 | 1,80 | 26,8 | 38,0 | 135 |
| Abdomen | 33,17 | 2,17 | 27,0 | 38,2 | 135 |
| Aksila | 33,24 | 2,13 | 28,6 | 38,4 | 135 |

Untuk mengevaluasi apakah terdapat perbedaan suhu antar bagian tubuh, dilakukan pengujian statistik menggunakan metode Kruskal-Wallis. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan secara statistik antar suhu fasial, abdomen, dan aksila (nilai statistik uji 5,18; p-value = 0,075). Meskipun tidak signifikan, hasil ini menunjukkan kecenderungan bahwa bagian fasial memiliki suhu rata-rata lebih tinggi dibandingkan bagian tubuh lainnya.

Secara fisiologis, hasil ini selaras dengan literatur terdahulu yang menyatakan bahwa fasial merupakan area tubuh dengan vaskularisasi tinggi serta letaknya dekat dengan struktur vital seperti otak dan organ sensorik utama (Matsuda *et al.* 2013). Area fasial pada mamalia kecil umumnya berfungsi penting dalam pembuangan panas metabolik dan sering digunakan sebagai indikator suhu tubuh (McCafferty *et al.* 2011).

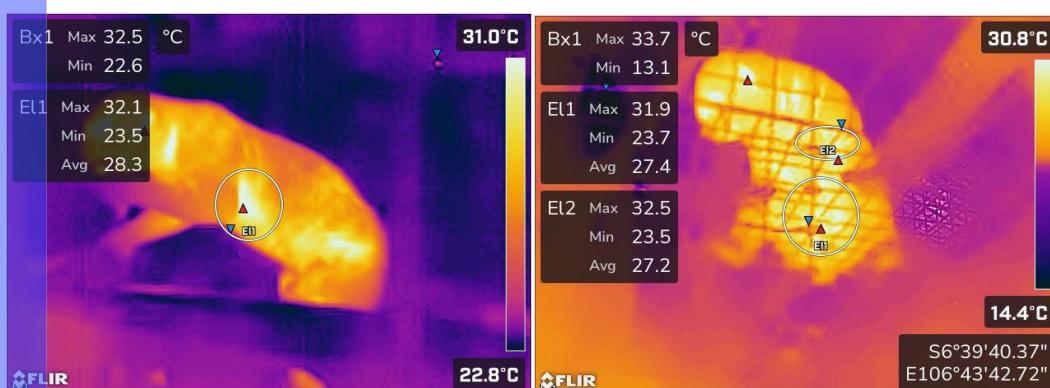
Sebaliknya, suhu abdomen dan aksila yang cenderung lebih rendah kemungkinan dipengaruhi oleh keberadaan rambut tebal sebagai insulasi alami serta posisi tubuh kukang saat beristirahat (seperti posisi meringkuk). Kedua area ini cenderung tertutup dari paparan langsung lingkungan sehingga efek insulasi dari rambut menyebabkan pengukuran suhu permukaan menjadi lebih rendah dari nilai aktual suhu tubuh (Budzek *et al.* 2020).

Meskipun ditemukan adanya perbedaan numerik, nilai korelasi antar suhu fasial, abdomen, dan aksila bersifat moderat hingga kuat. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiga bagian tubuh ini secara bersama-sama memberikan gambaran suhu tubuh sistemik, meski tidak sepenuhnya saling mengantikan secara langsung. Dalam praktiknya, terutama di pusat rehabilitasi satwa atau kebun binatang, suhu fasial dan aksila disarankan menjadi prioritas pengukuran karena aksesibilitasnya yang lebih baik dan sensitifitas terhadap fluktuasi fisiologis yang tinggi.

4.2 Distribusi Panas Tubuh Permukaan Kukang Berdasarkan Citra Termal

Hasil citra termal menunjukkan bahwa distribusi suhu permukaan tubuh kukang tidak merata dan dipengaruhi oleh perbedaan area tubuh. Warna dalam spektrum termal berkisar dari ungu (lebih dingin) hingga putih (lebih panas) yang merefleksikan gradasi suhu pada permukaan tubuh. Area dengan suhu relatif tinggi terlihat pada Gambar 3 terutama pada bagian fasial (mata, lubang telinga, dan mulut), abdomen, dan aksila. Ketiga area tersebut memang memiliki rambut yang lebih tipis dan juga aliran darah yang lebih tinggi, sehingga cenderung menjadi titik representatif untuk mengukur suhu tubuh (Matsuda *et al.* 2013; Nekaris *et al.* 2020).

Hasil sebaliknya pada bagian tubuh lain yang tertutup rambut lebih tebal atau terhalang oleh struktur kandang menunjukkan suhu lebih rendah. Hal tersebut dapat disebabkan karena rambut berperan sebagai isolator panas yang mengurangi emisi inframerah yang ditangkap oleh kamera (Budzek *et al.* 2020). Selain itu, adanya penghalang kandang menyebabkan refleksi atau hambatan pada citra, sehingga menurunkan akurasi nilai yang terdeteksi.



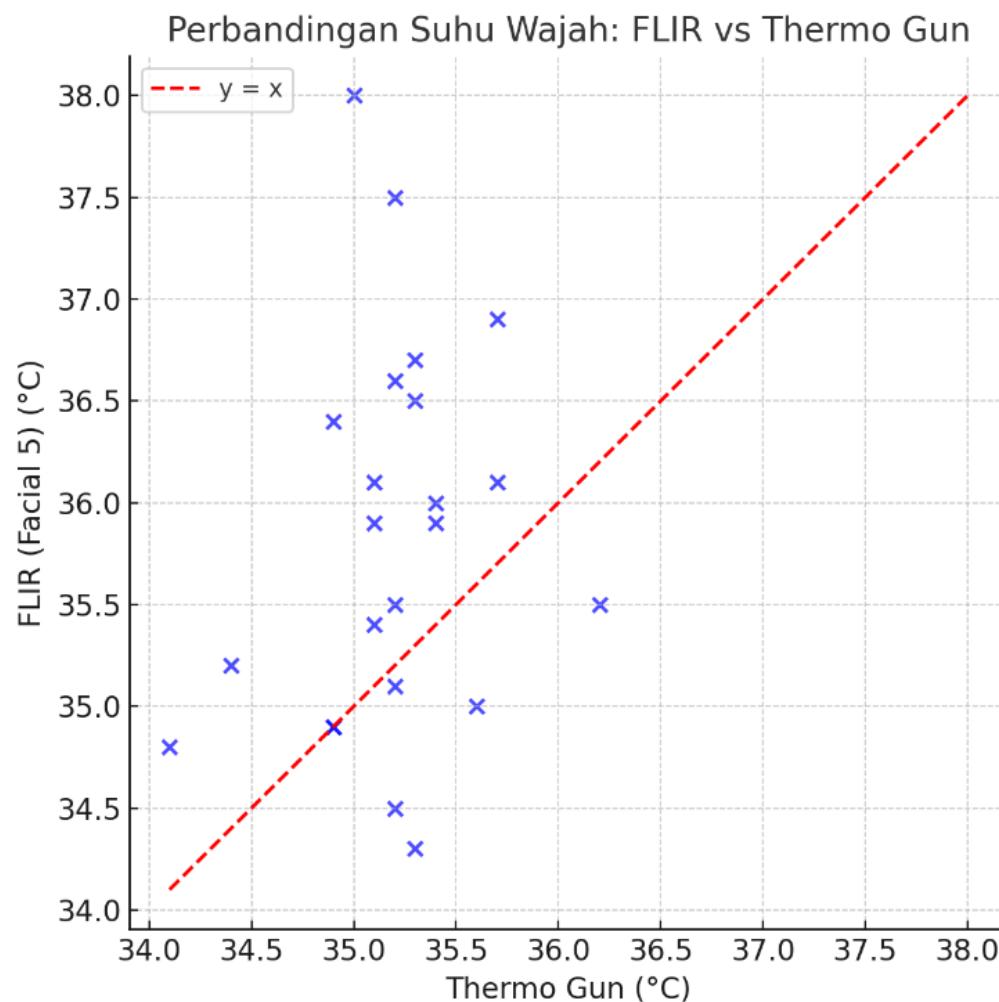
Gambar 3. Citra termal kukang. (▲) titik terpanas pada citra, (▼) titik terdingin pada citra

Perbedaan distribusi suhu pada kukang menegaskan pentingnya pemilihan titik pengukuran yang konsisten dan terbuka seperti wajah, abdomen, dan aksila untuk memperoleh data yang representatif. Hasil analisis juga mendukung gagasan bahwa pencitraan termal mampu memberikan gambaran non-invasif mengenai variasi distribusi panas tubuh pada kukang. Hal tersebut tidak dapat diperoleh dari metode invasif (termometer rektal) atau pengukuran satu titik dengan menggunakan termometer inframerah.

4.3 Perbandingan Metode Pengukuran Suhu Kamera FLIR vs Termometer inframerah

Untuk mengevaluasi konsistensi antar metode pengukuran suhu tubuh kukang, dilakukan analisis perbandingan antara kamera termal (FLIR) dan termometer inframerah pada bagian fasial. Hasil *paired t-test* menunjukkan bahwa suhu fasial yang diukur dengan FLIR One secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan termometer inframerah (rata-rata FLIR 35,81 °C vs termometer inframerah 35,19 °C; statistik $t = 3,09$; $p\text{-value} = 0,0054$). Visualisasi melalui *scatter plot* menunjukkan titik-titik pengukuran FLIR One cenderung berada di atas garis

identitas ($x=y$) yang menegaskan bias pengukuran positif, sedangkan analisis Bland-Altman plot mengonfirmasi adanya selisih rata-rata tetap sebesar $+0,62\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gambar 4).



Gambar 4 Scatter plot sederhana perbandingan suhu fasial kukang menggunakan FLIR One dengan termometer inframerah

Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa kamera termal mencatat suhu rerata fasial sebesar $35,81 \pm 0,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan rentang $33,91\text{--}37,71\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan termometer inframerah mencatat rerata $35,19 \pm 0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan rentang $34,34\text{--}36,04\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rentang suhu fisiologis yang diperoleh dari analisis mean $\pm 2\text{SD}$ juga lebih luas pada kamera termal ($33,91\text{--}37,71\text{ }^{\circ}\text{C}$) dibandingkan termometer inframerah ($34,34\text{--}36,04\text{ }^{\circ}\text{C}$). Rentang hasil FLIR One sebagian besar masih berada dalam kisaran referensi $33\text{--}36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang dilaporkan sebagai suhu normal kukang (Fitch-Snyder 2001), meskipun beberapa nilai melebihi ambang atas. Hal ini mengindikasikan bahwa kamera termal lebih sensitif dalam mendekripsi variasi individu, kondisi metabolik, maupun fluktuasi sirkadian, sementara termometer inframerah menghasilkan data yang lebih homogen namun berpotensi mereduksi fluktuasi fisiologis yang relevan (Matsuda *et al.* 2013; Nekaris *et al.* 2020).



Secara teknis, perbedaan ini disebabkan oleh cakupan area pengukuran. Kamera termal merekam distribusi panas secara spasial dari seluruh permukaan tubuh, sehingga mampu mengidentifikasi area dengan suhu lebih tinggi atau lebih rendah yang dapat mengindikasikan adanya proses inflamasi, gangguan perfusi, atau stres termal (McCafferty 2007; McCafferty *et al.* 2011). Sebaliknya, termometer inframerah hanya mengukur satu titik suhu permukaan dan hasilnya sangat dipengaruhi oleh sudut, jarak, serta kondisi penutup rambut (Budzek *et al.* 2020).

Dalam praktik konservasi dan rehabilitasi satwa liar, terutama di fasilitas *ex situ*, kamera termal menawarkan keunggulan non-invasif, konsistensi spasial, serta potensi pemantauan longitudinal terhadap kesehatan fisiologis. Meski demikian, termometer inframerah tetap memiliki peran penting untuk skrining cepat dalam kegiatan harian, dengan catatan hasil pengukurannya sebaiknya dikonfirmasi melalui pencitraan termal bila ditemukan nilai yang menyimpang dari ambang fisiologis normal.

4.4 Rentang Suhu Normal dan Ambang Klinis Abnormal

Penentuan rentang suhu normal dan ambang klinis abnormal sangat penting untuk pemantauan kesehatan kukang secara efektif. Berdasarkan data gabungan dari seluruh pengamatan zona waktu (Zona 1–3), didapatkan rentang suhu fasial antara 32,17 °C hingga 37,73 °C, abdomen antara 30,02 °C hingga 36,74 °C, dan aksila antara 30,84 °C hingga 37,37 °C. Rentang ini mencerminkan batas fisiologis normal kukang dalam kondisi stabil tanpa gejala klinis tampak, dan secara umum sejalan dengan rentang referensi fisiologis 33–36,6 °C yang dilaporkan sebelumnya (Fitch-Snyder 2001).

Nilai-nilai suhu ini dapat digunakan sebagai acuan deteksi dini untuk kondisi abnormal. Sebagai contoh, suhu fasial di luar rentang 32 °C hingga 37,5 °C dapat dijadikan indikator awal adanya gangguan fisiologis, seperti demam, inflamasi, atau hipotermia permukaan (Nekaris *et al.* 2020; McCafferty *et al.* 2011). Dalam praktik konservasi dan rehabilitasi, metode pemantauan suhu ini bersifat praktis, non-invasif, serta efektif untuk skrining harian dan penilaian cepat status kesehatan satwa.

Berdasarkan pola aktivitas kukang yang bersifat nokturnal, pengukuran suhu pada malam hari (17.00–05.00 WIB) direkomendasikan sebagai waktu yang paling representatif untuk menggambarkan baseline fisiologis. Sementara itu, pengambilan data pada siang hari tetap relevan sebagai bagian dari pemeriksaan kesehatan rutin, terutama untuk mendeteksi kondisi klinis saat satwa dalam fase istirahat.



4.5 Tren Kenaikan Suhu Berdasarkan Zona Waktu

Analisis suhu tubuh kukang berdasarkan zona waktu menunjukkan adanya pola peningkatan suhu yang konsisten dari sore hingga pagi hari. Suhu rata-rata fasial meningkat dari 32,73 °C pada sore hari (Zona 1: 17.00–23.00) menjadi 33,52 °C pada tengah malam (Zona 2: 23.00–05.00), dan mencapai 34,90 °C pada pagi hari (Zona 3: 05.00–10.00). Tren serupa juga diamati pada abdomen dan aksila, dengan nilai rata-rata yang ikut meningkat seiring waktu pengamatan (Tabel 5).

Hasil uji Kruskal–Wallis menegaskan bahwa perbedaan suhu antar zona waktu signifikan pada seluruh bagian tubuh ($p < 0,001$). Pola kenaikan ini secara fisiologis berkaitan dengan ritme sirkadian kukang yang bersifat nokturnal, di mana peningkatan aktivitas metabolisme pada malam hingga pagi hari memicu naiknya suhu tubuh permukaan. Temuan ini konsisten dengan literatur mengenai primata nokturnal lainnya yang menunjukkan fluktuasi suhu mengikuti pola aktivitas harian (Matsuda *et al.* 2017; Nekaris *et al.* 2020).

Tabel 5 Statistik deskriptif dan hasil uji beda suhu permukaan tubuh kukang pada tiga bagian tubuh berdasarkan zona waktu

| Bagian Tubuh | Rata-rata (°C) | Standar Deviasi | Min (°C) | Maks (°C) | Jumlah sampel (n) | Kruska l-Wallis | p-value | Kesimpulan |
|--------------|----------------|-----------------|----------|-----------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
| Fasial | 35.82 | ±0.94 | 32.17 | 37.73 | 168 | 34,42 | 3,36 × 10 ⁻⁸ | Berbeda signifikan |
| Abdomen | 33.62 | ±1.60 | 30.02 | 36.74 | 168 | 23,60 | 7,51 × 10 ⁻⁶ | Berbeda signifikan |
| Aksila | 34.27 | ±1.62 | 30.84 | 37.37 | 168 | 26,95 | 1,41 × 10 ⁻⁶ | Berbeda signifikan |



4.6 Korelasi Suhu Antar Bagian Tubuh

Analisis korelasi Spearman menunjukkan hubungan yang signifikan antara suhu permukaan tubuh pada tiga bagian utama kukang (fasial, abdomen, dan aksila). Hasil menunjukkan koefisien korelasi antara fasial dan abdomen sebesar $r = 0,52$ ($p < 0,001$), fasial dan aksila sebesar $r = 0,55$ ($p < 0,001$), serta abdomen dan aksila sebesar $r = 0,73$ ($p < 0,001$) (Tabel 6). Korelasi ini menunjukkan konsistensi termal antar area tubuh yang diukur, meskipun keuatannya tergolong sedang hingga kuat.

Tabel 6 Korelasi antar bagian tubuh (Spearman)

| Pasangan Bagian Tubuh | Koefisien Korelasi (r) | p-value | Kesimpulan |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fasial vs Abdomen | 0,52 | $7,89 \times 10^{-11}$ | Korelasi positif sedang |
| Fasial vs Aksila | 0,55 | $4,19 \times 10^{-12}$ | Korelasi positif sedang |
| Abdomen vs Aksila | 0,73 | $2,50 \times 10^{-23}$ | Korelasi positif kuat |

Secara fisiologis, korelasi ini mengindikasikan bahwa suhu permukaan tubuh pada bagian-bagian tersebut mengikuti pola distribusi panas yang serupa, mencerminkan homeostasis termal sistemik pada kukang. Meski demikian, kekuatan korelasi yang tidak terlalu tinggi juga menunjukkan adanya perbedaan lokal pada suhu yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ketebalan rambut, paparan lingkungan, dan distribusi vaskularisasi (Budzek *et al.* 2020; McCafferty *et al.* 2011).

Dari perspektif praktis, hasil ini mendukung penggunaan pengukuran suhu pada bagian tubuh yang paling mudah diakses, seperti fasial dan aksila, sebagai indikator representatif untuk pemantauan suhu permukaan tubuh kukang secara non-invasif. Namun, penting untuk diingat bahwa pengukuran suhu di satu titik sebaiknya tidak digunakan sebagai pengganti total untuk penilaian fisiologis menyeluruh, terutama dalam konteks skrining klinis.

4.7 Perbandingan Suhu Antar Spesies dan Jenis Kelamin Kukang

Analisis perbandingan suhu fasial kukang berdasarkan spesies (*N. javanicus* vs. *N. coucang*) dan jenis kelamin (jantan vs. betina) dilakukan menggunakan uji non-parametrik Mann–Whitney U karena data tidak sepenuhnya terdistribusi normal sehingga pendekatan tersebut lebih sesuai untuk membandingkan dua kelompok independen. Hasil uji menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada suhu fasial antara spesies ($U = 2130$, $p = 0,519$) maupun antara jenis kelamin ($U = 2254$, $p = 0,918$).

Hasil ini menunjukkan bahwa suhu permukaan fasial kukang relatif stabil lintas spesies dan jenis kelamin dalam kondisi lingkungan dan fisiologis yang terstandardisasi. Ketidakhadiran perbedaan ini dapat dijelaskan oleh kesamaan karakteristik morfologi dan fisiologi antara kedua spesies, yang keduanya merupakan primata nokturnal arboreal dengan ukuran tubuh dan pola

metabolisme yang serupa. Hasil ini konsisten dengan temuan dalam literatur yang menyatakan bahwa fluktuasi suhu permukaan tubuh pada mamalia kecil tidak selalu dipengaruhi oleh jenis kelamin, kecuali dalam kondisi fisiologis tertentu seperti masa estrus atau laktasi (Zanghi 2016). Oleh karena itu, nilai ambang suhu fisiologis normal yang telah ditetapkan sebelumnya dapat diterapkan secara umum tanpa penyesuaian berdasarkan spesies maupun jenis kelamin. Temuan ini memiliki implikasi praktis dalam upaya monitoring suhu tubuh di pusat rehabilitasi atau kebun binatang. Keseragaman suhu ini menyederhanakan proses skrining suhu dan memungkinkan pengembangan protokol deteksi dini yang bersifat universal.

4.8 Interaksi Suhu Tubuh Berdasarkan Spesies, Jenis Kelamin, Zona Waktu, dan Bagian Tubuh

Analisis interaksi suhu tubuh berdasarkan faktor spesies, jenis kelamin, zona waktu, dan bagian tubuh dilakukan menggunakan *two-way* ANOVA. Hasil menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi yang signifikan antara spesies dan zona waktu ($F = 1,665$; $p = 0,142$), spesies dan bagian tubuh ($F = 1,169$; $p = 0,312$), ataupun jenis kelamin dan bagian tubuh ($F = 0,420$; $p = 0,658$). Namun, interaksi antara jenis kelamin dan zona waktu mendekati signifikan ($F = 2,030$; $p = 0,074$), mengindikasikan adanya perbedaan pola termal harian antara kukang jantan dan betina (Tabel 7).

Tabel 7 Uji interaksi suhu tubuh berdasarkan spesies, jenis kelamin (*sex*), zona waktu, dan bagian tubuh menggunakan *Two-Way* ANOVA

| Interaksi | F-value (ANOVA) | p-value | Signifikansi? |
|------------------------|--------------------|---------|----------------------|
| Spesies × Zona | 1.665 | 0.142 | Tidak signifikan |
| Spesies × Bagian Tubuh | 1.169 | 0.312 | Tidak signifikan |
| Sex × Zona | 2.030 | 0.074 | Mendekati signifikan |
| Sex × Bagian Tubuh | 0.420 | 0.658 | Tidak signifikan |

Interpretasi dari hasil ini mengindikasikan bahwa pola distribusi suhu permukaan tubuh pada kukang cenderung seragam antar spesies dan antar bagian tubuh, serta berada dalam rentang fisiologis normal. Hal ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa perbedaan fisiologis antara spesies kukang (*N. javanicus* dan *N. coucang*) tidak terlalu memengaruhi profil suhu tubuh, setidaknya dalam lingkungan yang terstandardisasi. Adanya kecenderungan interaksi antara jenis kelamin dengan zona waktu mengindikasikan peran faktor hormonal (contohnya estrogen atau testosterone) dalam memengaruhi variasi suhu harian (Zanghi 2016). Diperlukan ukuran sampel yang lebih besar dan pemantauan yang berkelanjutan untuk memastikan keterkaitan hal tersebut. Secara praktis hal tersebut akan memudahkan pengembangan protokol klinis yang universal bagi populasi campuran di pusat rehabilitasi.



4.9 Hubungan Suhu Permukaan Tubuh dengan Body Condition Score (BCS) dan Berat Badan

Analisis korelasi Spearman antara suhu permukaan tubuh dengan *Body Condition Score* (BCS) dan berat badan menunjukkan tidak terdapat hubungan yang signifikan. Suhu fasial terhadap BCS menunjukkan nilai korelasi negatif yang lemah ($r = -0,117$; $p = 0,596$), suhu abdomen menunjukkan korelasi positif lemah terhadap berat badan ($r = 0,108$; $p = 0,624$), sedangkan suhu aksila terhadap BCS menunjukkan korelasi nol ($r = 0,000$; $p = 1,000$). Hasil tersebut konsisten dengan analisis regresi linear berganda (Tabel 8) yang menunjukkan bahwa baik BCS maupun berat badan tidak berpengaruh signifikan terhadap suhu permukaan pada wajah, abdomen, maupun aksila. Semua nilai p berada di atas 0,05, dengan koefisien regresi kecil dan interval kepercayaan yang lebar, menandakan rendahnya kestabilan model.

Tabel 8. Regresi linear berganda untuk suhu permukaan tubuh (fasial, abdomen, dan aksila) terhadap BCS dan berat badan

| Bagian Tubuh | Variabel | Koefisien (β) | p-value | 95% CI |
|--------------|-------------------------|-----------------------|---------|-------------------|
| Facial | Intercept (β_0) | 34,23 | < 0,001 | [30,35; 38,10] |
| | BCS | -0,04 | 0,941 | [-1,21; 1,13] |
| | Berat Badan | -0,00049 | 0,784 | [-0,0042; 0,0032] |
| Abdomen | Intercept (β_0) | 31,34 | < 0,001 | [26,74; 35,93] |
| | BCS | 0,30 | 0,661 | [-1,09; 1,69] |
| | Berat Badan | -0,00028 | 0,853 | [-0,0034; 0,0028] |
| Aksila | Intercept (β_0) | 33,13 | < 0,001 | [28,47; 37,80] |
| | BCS | -0,12 | 0,865 | [-1,62; 1,38] |
| | Berat Badan | -0,00017 | 0,918 | [-0,0038; 0,0035] |

Secara fisiologis hewan dengan BCS tinggi berpotensi memiliki lapisan lemak subkutan yang dapat memberikan efek insulasi sehingga menurunkan suhu permukaan, sementara BCS rendah dapat meningkatkan paparan panas tubuh. Namun, pola tersebut tidak terlihat signifikan pada penelitian ini. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh rentang sampel BCS dan berat badan yang relatif sempit serta faktor lain seperti status hormonal, postur tubuh, dan tingkat aktivitas saat pengukuran.

Meskipun tidak signifikan secara statistik, penggabungan informasi suhu tubuh dengan status kondisi tubuh tetap memiliki nilai praktis dalam pemantauan kesehatan satwa liar. Kombinasi BCS yang rendah dan suhu permukaan tinggi dapat mengindikasikan stres metabolik, sementara BCS tinggi dengan suhu rendah dapat menunjukkan hipometabolisme. Oleh karena itu, pendekatan integratif antara pemantauan fisiologis non-invasif dengan penilaian kondisi tubuh tetap direkomendasikan dalam rehabilitasi karkang di fasilitas *ex situ*.



V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil mendeskripsikan citra distribusi panas tubuh permukaan kukang (*Nycticebus spp.*) menggunakan kamera termal FLIR One. Citra menunjukkan bahwa area fasial konsisten memiliki suhu lebih tinggi dibanding abdomen dan aksila, sehingga dapat dianggap sebagai lokasi pengukuran yang paling representatif. Perbandingan metode menunjukkan bahwa pengukuran dengan kamera termal menghasilkan nilai suhu yang lebih tinggi dan rentang yang lebih bervariasi dibandingkan termometer inframerah, menegaskan keunggulan kamera termal dalam mendeteksi fluktuasi fisiologis.

Rentang suhu normal kukang sehat di lingkungan rehabilitasi *ex situ* pada fasial antara 32,17 °C hingga 37,73 °C, abdomen antara 30,02 °C hingga 36,74 °C, dan aksila antara 30,84 °C hingga 37,37 °C. Nilai suhu di luar kisaran ini dapat digunakan sebagai indikator awal adanya kondisi abnormal. Analisis variasi suhu berdasarkan zona waktu menunjukkan adanya tren kenaikan yang konsisten dari sore hingga pagi hari, mencerminkan pengaruh ritme sirkadian. Analisis antarbagian tubuh memperlihatkan bahwa suhu fasial lebih tinggi dibanding abdomen dan aksila. Sementara itu, perbandingan antarspesies (kukang jawa vs. sumatra) maupun jenis kelamin (jantan vs. betina) tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Hasil analisis interaksi antar faktor juga tidak signifikan, kecuali indikasi jenis kelamin dengan zona waktu yang mendekati signifikan dan memerlukan kajian lebih lanjut.

Hubungan suhu permukaan tubuh dengan *body condition score* (BCS) dan berat badan tidak signifikan, meskipun secara fisiologis jaringan lemak subkutan berpotensi memengaruhi suhu permukaan. Keterbatasan pada rentang data BCS, berat badan, serta faktor lingkungan kemungkinan menjadi penyebab tidak munculnya pola yang jelas. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan potensi kamera termal sebagai metode non-invasif yang praktis dan efektif untuk pemantauan fisiologis kukang, baik untuk keperluan skrining harian maupun sebagai indikator awal dalam evaluasi kesehatan dan kesejahteraan satwa di pusat rehabilitasi.

5.2 Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran suhu permukaan tubuh kukang dengan kamera termal (citra termal) berpotensi dimanfaatkan sebagai indikator awal dalam skrining kesehatan harian. Namun, kisaran suhu yang diperoleh dalam penelitian ini masih bersifat indikatif dan belum dapat dijadikan standar acuan yang baku. Kamera termal seperti FLIR One tetap direkomendasikan karena kepraktisannya dan kemampuannya mengukur suhu tanpa kontak langsung dengan satwa (non-invasif), yang sangat berguna dalam kondisi rehabilitasi. Pengambilan data suhu sebaiknya dilakukan secara rutin dan pada waktu yang konsisten, seperti malam hari, untuk meminimalkan variasi akibat ritme sirkadian. Selain itu, pencatatan suhu lingkungan dan kelembapan secara bersamaan akan membantu dalam menafsirkan data suhu tubuh secara lebih akurat. Penggabungan pengukuran



suhu dengan data *body condition score* (BCS), berat badan, serta parameter fisiologis lainnya seperti detak jantung atau hasil hematologi juga sangat dianjurkan guna memperoleh gambaran kesehatan satwa yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan diharapkan dapat dilakukan dengan cermat, mencakup kalibrasi alat secara manual, pemilihan individu dari berbagai kelompok usia dan status kesehatan, termasuk kukang yang sedang sakit atau dalam pemulihan, untuk memperkaya data referensi klinis yang mendukung kesejahteraan satwa secara menyeluruh.



DAFTAR PUSTAKA

- [AWC] Animal Welfare Committee. 2009. *Farm Animal Welfare in Great Britain: Past, Present and Future*. London: Farm Animal Welfare Council.
- [CITES] Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. 2023. *Appendices I, II and III*. Geneva (CH): CITES Secretariat.
- [IUCN] International Union for Conservation of Nature. 2020a. *The IUCN Red List of Threatened Species: Nycticebus javanicus*. Gland (CH): IUCN.
- [IUCN] International Union for Conservation of Nature. 2020b. *The IUCN Red List of Threatened Species: Nycticebus coucang*. Gland (CH): IUCN.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2018. *Peraturan Menteri LHK No. P.106/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2018 tentang Jenis Tumbuhan dan Satwa yang Dilindungi*. Jakarta: KLHK.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2023. *Laporan tahunan Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem Tahun 2023*. Jakarta: KLHK.
- [UU] Republik Indonesia. 1990. *Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Arsatria R, Nurhadi B, Wijayanto H. 2020. Analisis perbandingan citra visual dan citra termal menggunakan metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) dan K-Nearest Neighbor. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 4(6):2204–2210.
- Bowers CW, Aufderheide MB, Hohn CM. 2009. Thermal imaging as a tool for veterinary diagnostics. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 39(4):805–820.
- Budzek P, Karwat ID, Chmielewska D. 2020. Thermographic assessment of mammalian body temperature: limitations due to hair cover. *Thermal Science*. 24(5):3073–3083.
- Cilulko J, Janiszewski P, Bogdaszewski M, Szczygielska E. 2013. Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research*. 59:17–23.
- Fitch-Snyder H. 2001. Management of lorises in captivity: a survey of Asian and North American institutions. In: Mittermeier RA, Rylands AB, Wilson DE, editor. *Primates in peril: The world's 25 most endangered primates*. Washington DC: Conservation International. p. 77–83.
- Gallese V, Merla A. 2014. Thermal imaging and the physiological correlates of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*. 18(2):79–81.
- Ghassani YK, Rianti P, Priambada NP, Arifin I, Saptorini I, Prameswari W, Darusman HS. 2023. Welfare assessment of slow loris (*Nycticebus* spp.) at an Indonesian primate rehabilitation center: Development and validation of body condition score. *American Journal of Primatology*. 86(1):e23524.
- Geiser F. 2004. Metabolic rate and body temperature reduction during hibernation and daily torpor. *Annual Review of Physiology*. 66:239–274.
- Geiser F, Goodship N, Heldmaier G. 2006. Vertebrate torpor patterns: thermal imaging and the effect of ambient temperature. *Journal of Comparative Physiology B*. 176(7):569–577.



- Groves CP. 2001. *Primate taxonomy*. Washington DC: Smithsonian Institution Press.
- Hoffmann G, Schmidt M, Ammon C, Rose ME, Steffen G. 2013. Thermography and pig welfare. *Poultry and Animal Biology Journal*. 15(3):255–266.
- Jensen SA, Osvath M, Marshall AR. 2009. Non-invasive body temperature measurement of wild chimpanzees using fecal temperature decline. *Journal of Wildlife Diseases*. 45(3):542–546.
- Johnson SR, Rao S, Hussey SB, Morley PS, Traub-Dargatz JL. 2011. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*. 31(2):63–66.
- Kleiber M. 1961. *The fire of life: An introduction to animal energetics*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons.
- Long CT, Pacharinsak C, Jampachaisri K, McKeon GP, Howard AM, Albertelli MA, Felt SA. 2011. Comparison of rectal and tympanic core body temperature measurement in adult Guyanese squirrel monkeys (*Saimiri sciureus sciureus*). *Journal of Medical Primatology*. 40(2):135–141.
- Matsuda I, Tuuga A, Bernard H, Higashi S. 2013. Thermal regulation in nocturnal primates: facial temperature and blood flow. *Journal of Thermal Biology*. 38(1):40–47.
- McCafferty DJ. 2007. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Review*. 37(3):207–223.
- McCafferty DJ, Gilbert C, Paterson W, Pomeroy PP, Thompson D, Currie JI, Ancel A. 2011. Thermal imaging of physiological processes in mammals. *Biological Reviews*. 86(2):613–632.
- Mellor DJ. 2020. Updating animal welfare thinking: moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living.” *Animals*. 6(3):21–33.
- Muller EF. 1975. Basal metabolic rates in primates: a review. *Folia Primatologica*. 23:65–78.
- Muller EF. 1979. Energy metabolism, thermoregulation and torpor in the slow loris (*Nycticebus coucang* Boddaert, 1785). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 63(2):275–281.
- Muller EF. 1983. Comparative energy metabolism in slow lorises (*Nycticebus spp.*) and other prosimians. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 75(2):307–314.
- Napier JR, Napier PH. 1967. *A handbook of living primates*. London: Academic Press.
- Napier JR, Napier PH. 1985. *The natural history of the primates*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Nekaris KAI, Burrows A. 2020. Evolutionary history and conservation of the Lorisiformes. In: Kappeler PM, Watts DP, editor. *Evolution of primate societies*. Springer. p. 87–101.
- Nekaris KAI, Campbell N, Coggins TG, Rode EJ, Nijman V. 2014. Tickled to death: analysing public perceptions of ‘cute’ videos of threatened species (slow loris–*Nycticebus spp.*) on Web 2.0 sites. *PLoS ONE*. 8(7):e69215.
- Nekaris KAI, Starr CR, Collins RL, Nijman V. 2020. The role of thermography in nocturnal primate welfare and health monitoring. *Primate Conservation*. 34:44–55.

- Nekaris KAI, Streicher U. 2020a. *Nycticebus javanicus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T39761A17969460. Gland (CH): IUCN.
- Nekaris KAI, Streicher U. 2020b. *Nycticebus coucang*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T39760A17969272. Gland (CH): IUCN.
- Pizzi R, Dowling A, Brown D, Girling S, Pearson S, Bacon H, Martinez Pereira Y. 2015. Facial thermography is not useful in assessing body temperature in common squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) in comparison to rectal temperatures. *Journal of Zoo and Aquarium Research*. 3(3):94–101.
- Sikoski P, Banks ML, Gould RW, Young RW, Wallace JM, Nader MA. 2007. Comparison of rectal and infrared thermometry for obtaining body temperature in cynomolgus macaques (*Macaca fascicularis*). *Journal of Medical Primatology*. 36(6):381–384.
- Supriatna J, Wahyono D. 2000. *Panduan lapangan primata Indonesia*. Jakarta: Conservation International Indonesia.
- Whittow GC, Gould E, Kanwisher J. 1977. Body temperature regulation, heart rate and oxygen consumption in the slow loris (*Nycticebus coucang*). *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie*. 85(1):139–152.
- Zanghi B. 2016. Non-invasive temperature monitoring in mammals: correlations with activity and environmental variables. *Veterinary Research Communications*. 40(3–4):219–228.