

INTEGRASI EKOLOGI DAN TEKNOLOGI KONSERVASI KODOK MERAH (*Leptophryne cruentata*) DI PEGUNUNGAN TROPIS INDONESIA

RIZKI KURNIA TOHIR



PROGRAM STUDI KONSERVASI BIODIVERSITAS TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

- 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 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 DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Integrasi Ekologi dan Teknologi Konservasi Kodok Merah (*Leptophryne cruentata*) di Pegunungan Tropis Indonesia” 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 disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Rizki Kurnia Tohir
E3601211006



RINGKASAN

RIZKI KURNIA TOHIR. Integrasi Ekologi dan Teknologi Konservasi Kodok Merah (*Leptophryne cruentata*) di Pegunungan Tropis Indonesia. Dibimbing oleh MIRZA DIKARI KUSRINI, ANI MARDIASTUTI, dan DEDE AULIA RAHMAN.

Kodok merah (*Leptophryne cruentata*) merupakan amfibi endemik Jawa yang berstatus dilindungi di Indonesia dan dikategorikan *Critically Endangered* dalam *IUCN Red List*. Sebarannya terbatas pada dua kantong populasi utama, yaitu Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP) dan Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS). Meskipun memiliki status keterancaman tinggi, penelitian mengenai spesies ini masih terbatas dan sebagian informasi masih berasal dari catatan perjumpaan, laporan teknis, serta literatur abu-abu. Kondisi tersebut menyebabkan informasi mengenai bioekologi, demografi, dan distribusi spasial kodok merah belum cukup untuk mendukung kegiatan konservasi berbasis data lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ekologi habitat dan perilaku, mengestimasi populasi berbasis pengenalan individu, serta memodelkan distribusi dan proyeksi ancaman perubahan iklim.

Kajian ekologi habitat dilakukan pada 11 lokasi di TNGGP yang mewakili sungai, air terjun-sungai, dan aliran rawa. Rentang elevasi utama hasil observasi berada pada 1281–1892 mdpl, dengan laporan tambahan pada 2089 mdpl, sekitar 260 m dari sumber air terdekat. Kodok merah memanfaatkan air terjun, sungai besar, sungai sedang, sungai kecil, rawa atau paparan banjir, serta rembesan dinding tebing. Habitat memiliki tutupan kanopi rapat dengan rentang 67–100%, lebar aliran 0,50–7,00 m, kedalaman aliran 1–80 cm, arus 0,40–0,80 m/s. Mikroklimat habitat relatif sejuk dan lembap, dengan suhu udara siang $18,51 \pm 1,36$ °C, suhu udara malam $17,63 \pm 1,23$ °C, kelembapan siang $92,38 \pm 6,78\%$, kelembapan malam $92,56 \pm 7,00\%$, suhu air siang $18,43 \pm 1,79$ °C, dan suhu air malam $17,83 \pm 1,34$ °C. Fluktuasi mikroklimatik pada mikrohabitat kodok merah teridentifikasi rendah.

Pola aktivitas kodok merah berlangsung pada malam dan siang hari. Data waktu aktif mencatat 550 penemuan pada malam hari dan 348 penemuan pada siang hari. Suhu tubuh relatif stabil, yaitu $16,9 \pm 0,9$ °C pada malam hari dan $17,2 \pm 1,0$ °C pada siang hari, serta $17,0 \pm 1,0$ °C pada jantan dan betina. Hal ini didukung stabilitas mikroklimatik habitat kodok merah. Penggunaan ruang menunjukkan preferensi terhadap aliran berjeram sebanyak 558 individu, diikuti aliran kecil 289 individu dan aliran sedang 51 individu, dengan Cohen's w sebesar 0,69. Perbedaan penggunaan ruang antara jantan dan betina ditemukan pada tipologi perairan dan substrat. Perilaku reproduksi ditunjukkan melalui vokalisasi jantan pada siang dan malam hari, dua tipe panggilan pada rentang frekuensi 3,7–4,1 kHz, tiga pasangan amplexus, serta temuan betina gravid, telur, berudu, dan tahapan metamorfosis.

Analisis morfometrik menunjukkan bahwa 898 individu tervalidasi terdiri atas 637 jantan dan 261 betina, dengan seks rasio gabungan 2,44:1. Individu betina memiliki ukuran tubuh lebih besar daripada jantan, dengan bobot $2,47 \pm 0,63$ g dibandingkan $1,17 \pm 0,31$ g pada jantan. SVL betina juga lebih panjang, yaitu $3,2 \pm 0,3$ cm dibandingkan $2,47 \pm 0,2$ cm pada jantan. Hubungan antara jenis kelamin dan bobot tubuh maupun SVL tergolong sangat kuat, masing-masing dengan $r = 0,81$ dan $r = 0,82$. Variasi fenotipik terdiri atas enam komposisi warna, yaitu merah,

oranye, merah-kuning, hitam, keabuan, dan kuning. Pola dorsal memperlihatkan enam konfigurasi utama, dengan dominasi pola 'O' sebesar 67% dan pola 'V' sebesar 50%.

Pengenalan individu berbasis *Photo-ID* pada 886 citra menghasilkan 701 individu unik. Sebanyak 558 individu tertangkap satu kali, sedangkan 143 individu tertangkap kembali, dengan tingkat tangkapan kembali 20,40% dan nilai akurasi *top-1* 97,90%. Kelimpahan relatif gabungan tercatat sebesar $16,46 \pm 14,56$ individu/100 m. Nilai kelimpahan tertinggi ditemukan pada Aliran Jembatan Rawa Gayonggong 2, Sungai Cimisblung 2, dan Curug Cibeureum 3. Estimasi populasi berbasis CMR menghasilkan taksiran total populasi kodok merah di TNGGP sebesar 1430 individu dengan CI 95%: 1.155–1.876. Teridentifikasi 7 metapopulasi kodok merah sebagai lokasi dengan potensi dispersal dengan estimasi populasi paling tinggi terdapat pada metapopulasi 3, 1, dan 2.

Hasil pemodelan distribusi saat ini menunjukkan bahwa habitat dengan kesesuaian tinggi di TNGGP hanya seluas 902 ha atau 4% dari wilayah TNGGP. Variabel jarak dari sungai menjadi prediktor terpenting, diikuti elevasi dan *temperature seasonality*. Proyeksi perubahan iklim periode 2081–2100 menunjukkan kontraksi habitat pada skenario mitigasi (SSP1-2.6) maupun *Business as Usual* (BAU/SSP5-8.5). Habitat dengan kesesuaian tinggi menyusut dari 1906 ha menjadi 946 ha pada skenario mitigasi dan menjadi 585 ha pada skenario BAU. Peta biner dengan habitat yang sesuai turun dari 2204 ha menjadi 1933 ha pada skenario mitigasi dan 1342 ha pada skenario BAU. Pusat sebaran elevasi habitat berada pada 1723 mdpl pada kondisi saat ini, naik menjadi 1750 mdpl pada skenario mitigasi, dan turun menjadi 1529 mdpl pada skenario BAU. Pola *downslope shift* pada skenario BAU menunjukkan bahwa kesesuaian habitat masa depan lebih berkaitan dengan *refugia* mikroklimatik di lembah riparian daripada elevasi.

Analisis AOO dan EOO pada lanskap TNGGP dan TNGHS menghasilkan EOO sebesar 418 km² dan AOO sebesar 64 km² dari 16 grid berukuran 2×2 km. Grid tersebut terdiri atas 11 grid di TNGGP dan 5 grid di TNGHS. Proyeksi kehilangan habitat kumulatif pada skenario SSP5-8.5 mencapai 80,68%, dengan penurunan 69,30% di TNGGP dan 86,05% di TNGHS berdasarkan pendekatan ekstrapolasi proporsional. Hasil ini mendukung kebutuhan *re-assessment IUCN Red List*, dengan Kriteria A3c mengarah pada *Critically Endangered*, sedangkan Kriteria B dan C lebih mengarah pada *Endangered*.

Secara umum, konservasi kodok merah memerlukan perlindungan jejaring habitat perairan pegunungan, pemantauan populasi berbasis *Photo-ID* dan CMR, serta antisipasi kehilangan habitat akibat perubahan iklim. Habitat yang perlu diprioritaskan mencakup jejaring koridor hidrologis habitat kodok merah. Lembah riparian sisi timur TNGGP yang diproyeksikan tetap memiliki kesesuaian habitat pada skenario perubahan iklim perlu dipertimbangkan sebagai *refugia* mikroklimatik. Hasil penelitian juga mendukung beberapa kegiatan dalam SRAK Kodok *Leptophryne* Indonesia 2021–2030, terutama penyediaan data ekologi dan pemantauan populasi serta habitat.

Kata kunci: *Capture Mark Recapture*; ekologi habitat; model distribusi spesies; perilaku seksual; *Photo-ID*.



SUMMARY

RIZKI KURNIA TOHIR. Integration Ecology and Conservation Technology of Bleeding Toad (*Leptophryne cruentata*) in Indonesian Tropical Mountain. Supervised by MIRZA DIKARI KUSRINI, ANI MARDIASTUTI, and DEDE AULIA RAHMAN.

The bleeding toad (*Leptophryne cruentata*) is an endemic amphibian and the only amphibian species legally protected in Indonesia. It is also listed as Critically Endangered on the IUCN Red List. The species is currently known from two main population areas: Gunung Gede Pangrango National Park (TNGGP) and Gunung Halimun Salak National Park (TNGHS). Despite its high threat status, research on this species remains limited, and current knowledge is still largely based on encounter records, technical reports, and grey literature. Consequently, information on the bioecology, demography, and spatial distribution of the bleeding toad remains insufficient to support field-based conservation actions. This study aimed to analyse habitat ecology and behaviour, estimate population size through individual recognition, and model the species' distribution under current and future climate scenarios.

The habitat ecology study was conducted at 11 sites in TNGGP. The main elevational range recorded during field observations was 1,281–1,892 m a.s.l., with an additional record at 2,089 m a.s.l., approximately 260 m from the nearest water source. The bleeding toad used waterfalls, large rivers, medium-sized rivers, small streams, swamps or floodplain areas, and seepages on cliff walls. Occupied habitats had canopy cover ranging from 67% to 100%, stream widths of 0.50–7.00 m, water depths of 1–80 cm, and current velocities of 0.40–0.80 m/s. Habitat microclimates were generally cool and humid, with daytime air temperature of 18.51 ± 1.36 °C, night-time air temperature of 17.63 ± 1.23 °C, daytime humidity of $92.38 \pm 6.78\%$, night-time humidity of $92.56 \pm 7.00\%$, daytime water temperature of 18.43 ± 1.79 °C, and night-time water temperature of 17.83 ± 1.34 °C.

Activity was recorded both during the day and at night. A total of 550 encounters were recorded at night and 348 during the day. Body temperature remained relatively stable, averaging 16.9 ± 0.9 °C at night and 17.2 ± 1.0 °C during the day, and 17.0 ± 1.0 °C in both males and females. Spatial use indicated a preference for riffle streams, where 558 individuals were recorded, followed by small streams with 289 individuals and medium-sized streams with 51 individuals. Cohen's w for this pattern was 0.69. Differences in spatial use between males and females were found in waterbody typology and substrate. Reproductive behaviour was indicated by male vocalisations during both day and night, two call types within a frequency range of 3.7–4.1 kHz, three pairs observed in amplexus, and the presence of gravid females, eggs, tadpoles, and metamorphs.

Morphometric analysis of 898 validated individuals identified 637 males and 261 females, giving an overall sex ratio of 2.44:1. Females were larger than males, with body mass averaging 2.47 ± 0.63 g compared with 1.17 ± 0.31 g in males. Female SVL was also longer, at 3.2 ± 0.3 cm, compared with 2.47 ± 0.2 cm in males. The relationships between sex and both body mass and SVL were very strong, with $r = 0.81$ and $r = 0.82$, respectively. Phenotypic variation consisted of six colour compositions: red, orange, red-yellow, black, greyish, and yellow. Dorsal



patterns showed six main configurations, with the ‘O’ pattern recorded in 67% of individuals and the ‘V’ pattern in 50%.

Photo-ID-based individual recognition using 886 images identified 701 unique individuals. A total of 558 individuals were recorded only once, while 143 individuals were recaptured, resulting in a recapture rate of 20.40%, with a top-1 accuracy of 97.90%. Overall relative abundance was 16.46 ± 14.56 individuals/100 m. The highest abundance values were recorded at Aliran Jembatan Rawa Gayonggong 2, Sungai Cimisblung 2, and Curug Cibeureum 3. CMR-based population estimation produced a total estimated population of 1,430 bleeding toads in TNGGP, with a 95% CI of 1,155–1,876 individuals. Seven metapopulations were identified as locations with dispersal potential, with the highest population estimates found in metapopulations 3, 1, and 2.

Current distribution modelling showed that highly suitable habitat in TNGGP covered only 902 ha, equivalent to 4% of the park area. Distance from rivers was the most important predictor, followed by elevation and temperature seasonality. Climate change projections for 2081–2100 indicated habitat contraction under both the mitigation scenario (SSP1-2.6) and the business-as-usual scenario (BAU/SSP5-8.5). Highly suitable habitat declined from 1,906 ha to 946 ha under the mitigation scenario and to 585 ha under the BAU scenario. Suitable binary habitat decreased from 2,204 ha to 1,933 ha under the mitigation scenario and to 1,342 ha under the BAU scenario. The elevational centre of habitat distribution was 1,723 m a.s.l. under current conditions. It shifted upward to 1,750 m a.s.l. under the mitigation scenario and downward to 1,529 m a.s.l. under the BAU scenario. The downslope shift projected under the BAU scenario suggests that future habitat suitability may depend more on microclimatic refugia in riparian valleys than on elevation itself.

Analysis of AOO and EOO across the TNGGP and TNGHS landscapes produced an EOO of 418 km² and an AOO of 64 km², based on 16 grids of 2 × 2 km. These comprised 11 grids in TNGGP and five grids in TNGHS. Projected cumulative habitat loss under the SSP5-8.5 scenario reached 80.68%, with declines of 69.30% in TNGGP and 86.05% in TNGHS based on proportional extrapolation. These results support the need for an IUCN Red List reassessment. Criterion A3c towards Critically Endangered, while Criteria B and C are more consistent with Endangered.

Overall, conservation of the bleeding toad requires the protection of montane aquatic habitat networks, population monitoring using Photo-ID and CMR, and early anticipation of climate-driven habitat loss. Priority habitats include waterfalls, riffle streams, small streams, shallow swamps, seepages on cliff walls, and the hydrological corridors that connect them. Riparian valleys on the eastern side of TNGGP that are projected to remain suitable under climate change scenarios should be considered potential microclimatic refugia. The findings also support several activities in the Indonesian *Leptophryne* Conservation Strategy and Action Plan 2021–2030, especially by providing ecological data and supporting population and habitat monitoring.

Keywords: Capture Mark Recapture; habitat ecology; Photo-ID; Sexual behavior; species distribution model.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

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 2026
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.

INTEGRASI EKOLOGI DAN TEKNOLOGI KONSERVASI KODOK MERAH (*Leptophryne cruentata*) DI PEGUNUNGAN TROPIS INDONESIA

RIZKI KURNIA TOHIR

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Konservasi Biodiversitas Tropika

**PROGRAM STUDI KONSERVASI BIODIVERSITAS TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Prof. Dr. Amir Hamidy, M.Sc.
2. Dr. Ahmad Munawir, S.Hut., M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1. Prof. Dr. Amir Hamidy, M.Sc.
2. Dr. Ahmad Munawir, S.Hut., M.Si.



Judul Disertasi : Integrasi Ekologi dan Teknologi Konservasi Kodok Merah
(*Leptophryne cruentata*) di Pegunungan Tropis Indonesia
Nama : Rizki Kurnia Tohir
NIM : E3601211006

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Mirza Dikari Kusri, M.Si.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Ani Mardiasuti, M.Sc.

Pembimbing 3:

Dr. Dede Aulia Rahman, S.Hut., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Konservasi Biodiversitas Tropika

Prof. Dr. Ir. Yanto Santosa, DEA.

196010041985011001

Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan

Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop

197003291996081001





PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Kuasa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2023 hingga Februari 2024 ini mengangkat tema Ekologi Kodok Merah, dengan judul "Integrasi Ekologi dan Teknologi Konservasi Kodok Merah (*Leptophryne cruentata*) di Pegunungan Tropis Indonesia".

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing, yaitu Prof Mirza Dikari Kusri, Prof. Ani Mardiatuti, dan Dr. Dede Aulia Rahman, atas bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan disertasi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada moderator seminar serta para penguji luar komisi pembimbing, yaitu Prof. Amir Hamidy, Bapak Hariyo Tabah Wibisono, Ph.D., dan Dr. Ahmad Munawir, atas saran, koreksi, dan masukan yang membangun bagi penyempurnaan karya ilmiah ini.

Penghargaan dan terima kasih turut penulis sampaikan kepada Kepala Balai, Kepala Seksi, Kepala Resort, dan seluruh staf Balai Besar Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, terutama Kang Bobby Darmawan, atas segala bantuan selama proses pengumpulan data di lapangan. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada para asisten penelitian lapangan, yaitu Arie Mulia Lubis, Rasel Alif Alghani dan Adam Firoso, atas kerja keras, dedikasi, dan kebersamaannya selama kegiatan pengambilan data berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Nathan Dehaut (*French National Centre for Scientific Research*), Daniela Pareja Mejia (*Stanford University*), dan Mhd Muhajir Hasibuan (Program Studi Rekayasa Kehutanan) yang telah membantu dalam proses analisis data. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Chester Zoo, dan *Asian Species Action Partnership* (ASAP) atas dukungan beasiswa studi dan riset yang diberikan. Terima kasih kepada Tim *Herpetological Conservation Breeding Laboratory* (HCBL) yaitu Risma Aprilianti dan Nathan Rusli yang telah membantu proses penelitian.

Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada rekan-rekan sejawat di Program Studi Rekayasa Kehutanan-ITERA, atas dukungan, kebersamaan, dan motivasi yang senantiasa diberikan selama penulis menempuh studi. Penghargaan yang tulus dan mendalam penulis persembahkan kepada istri terkasih, Novi Kartika Sari, putri tersayang Ancika Falisha Kania, serta kedua orang tua dan mertua atas curahan kasih sayang, doa, dan dukungan yang tiada henti selama masa studi.

Akhir kata, semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan serta berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang konservasi keanekaragaman hayati.

Bogor, Juni 2026

Rizki Kurnia Tohir



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	vii
PENDAHULUAN UMUM	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Manfaat	5
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	6
II DESKRIPSI LOKASI PENELITIAN	7
III EKOLOGI HABITAT DAN PERILAKU KODOK MERAH	20
3.1 Abstrak	20
3.2 Pendahuluan	20
3.3 Metode	21
3.4 Hasil	25
3.5 Pembahasan	35
3.6 Simpulan	41
IV ESTIMASI POPULASI KODOK MERAH BERBASIS MORFOMETRIK DAN PENGENALAN INDIVIDU	42
4.1 Abstrak	42
4.2 Pendahuluan	42
4.3 Metode	44
4.4 Hasil	49
4.5 Pembahasan	60
4.6 Simpulan	65
V DISTRIBUSI KODOK MERAH DAN PROYEKSI ANCAMAN PERUBAHAN IKLIM	66
5.1 Abstrak	66
5.2 Pendahuluan	66
5.3 Metode	67
5.4 Hasil	74
5.5 Pembahasan	82
5.6 Simpulan	86
VI PEMBAHASAN UMUM	87
VII SIMPULAN DAN SARAN	96
7.1 Simpulan	96
7.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	99
RIWAYAT HIDUP	116

DAFTAR TABEL

1	Lokasi dan tipe badan air utama habitat kodok merah di TNGGP	8
2	Penggunaan tipologi aliran perairan oleh kodok merah berdasarkan jenis kelamin	30
3	Penggunaan substrat mikrohabitat kodok merah berdasarkan jenis kelamin	31
4	Jumlah penemuan kodok merah berdasarkan waktu aktif dan jenis kelamin	31
5	Sebaran suhu tubuh kodok merah berdasarkan waktu penemuan dan jenis kelamin	32
6	Jumlah individu dan seks rasio kodok merah pada setiap lokasi survei	51
7	Hasil <i>Photo-ID</i> dan penangkapan kembali kodok merah pada setiap lokasi	56
8	Kelimpahan relatif kodok merah per 100 m transek	57
9	Metrik transisi dan interpretasi ekologis dinamika perubahan spasial habitat	72
10	Metrik evaluasi model algoritma <i>machine learning</i> pada setiap model prediksi distribusi kodok merah.	74
11	Ringkasan perhitungan proyeksi kehilangan habitat kumulatif pada skenario BAU SSP5-8.5	82
12	Ringkasan evaluasi penilaian kembali status keterancaman <i>IUCN Red List</i> kodok merah	89
13	Kontribusi penelitian terhadap indikator capaian matriks SRAK kodok <i>Leptophryne</i> Indonesia 2021-2030	91

DAFTAR GAMBAR

1	Ruang lingkup penelitian	5
2	Sebaran geografis kodok merah dari berbagai sumber referensi	7
3	Peta lokasi penelitian pada habitat perairan berdasarkan gradien ketinggian di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango	8
4	Area <i>camp</i> Sungai Cimisblung 2 berada di punggung bukit (a); air terjun ketinggian 5 meter yang ditemukan pertama kali (b); aliran sungai dengan dominasi sungai batuan dasar/ <i>bedrock river</i> (c); genangan sungai (<i>pool</i>) berarus lambat sebagai areal pembesaran berudu (d).	9
5	Air terjun Curug Pariuk ketinggian 20-30 m (a); Areal terbuka dan curam di bawah aliran kolam air terjun (b); Habitat sungai dengan batuan relatif besar dan berlumut di kanan kiri sungai (c, d).	10
6	Lokasi <i>camp</i> dan awal mulai jalur observasi Sungai Jajaway (a); Sungai tergolong kecil, dangkal, kanopi rapat (b); Dominasi substrat berpasir (c); Batuan sungai dominasi berlumut (d)	11

- 7 Jeram di akhir transek Sungai Kuta yang kering (a, b); habitat sungai sempit dipenuhi semak (c) kondisi sungai pasca banjir bandang dan longsor dengan dasar sungai dipenuhi material (d). 12
- 8 Awal transek banyak aktivitas masyarakat untuk memanfaatkan air di Curug Ceret (a, b); Sungai berukuran sedang dengan batuan berlumut dan kanopi rapat (c); Air terjun tertutup material pasca banjir (d) 13
- 9 Sungai lebar dengan arus kuat Rawa Denok 2 dengan suhu air hangat (a, b); Cerukan dengan arus lambat dan batuan berlumut digunakan sebagai habitat kodok merah (c, d) 14
- 10 Aliran dari Curug Cibeureum 1 dengan suhu air hangat (a); Sungai kecil dan dipenuhi semak belukar (b, c); Substrat sungai berupa pasir dan banyak ditemukan berudu kodok merah (d). 15
- 11 Kondisi jalur menuju Air Terjun Curug Cibeureum 3 pasca banjir bandang (a, b); Kondisi cerukan air terjun dengan debit air tinggi (c); Dinding air terjun berlumut habitat kodok merah khususnya betina (d) 16
- 12 Kondisi Jembatan Rawa Gayonggong 2 dari atas (a); Kondisi aliran di bawah jembatan (b); Dominansi substrat pasir berlumpur (c); Situasi cara pengambilan data dengan berjalan jongkok (d) 17
- 13 Air Terjun Curug Cibeureum Selabintana ketinggian 70 m dengan kolam yang luas (a), Digunakan sebagai destinasi wisata (b); Sungai relatif besar, batuan besar, berjeram, dan kanopi rapat (c) 18
- 14 Air terjun Curug Rasta dengan ketinggian 30-40 m dengan kolam yang luas (a, b, c); Sungai berukuran sedang, dangkal, batuan sungai relatif kecil, dan substrat dominan pasir (d, e) 19
- 15 Pengukuran variabel lingkungan: panjang & lebar transek (a); kecepatan arus (b); suhu air (c); intensitas cahaya (d); kerapatan kanopi (e); suhu dan kelembapan udara (f). 22
- 16 Metode pengamatan langsung siang dan malam (a, b, c); pengukuran suhu tubuh menggunakan termometer tembak (d); perekaman suara menggunakan PAM (e, f) 23
- 17 Sebaran elevasi habitat kodok merah di TNGGP; (A) zona pegunungan ≥ 1400 mdpl; (B) zona sub-pegunungan < 1400 mdpl 26
- 18 *Boxplot* variasi diurnal dan nokturnal mikroklimat habitat gabungan zona pegunungan dan sub-pegunungan: suhu udara (a), kelembapan udara (b), suhu air (c). 27
- 19 Variasi karakteristik hidrologi di 11 lokasi survei. Parameter yang diukur di setiap lokasi habitat meliputi: (a) kedalaman sungai (m), (b) lebar sungai (m), (c) kecepatan arus sungai (m/detik), dan (d) penutupan tajuk (%). 28
- 20 Penggunaan variasi mikrohabitat oleh kodok merah di TNGGP. 29
- 21 Tipe dan karakteristik masing-masing suara; pada tipe suara 2 struktur suara *introductory notes* (A), *main notes* (B), dan *terminal notes* (C) 33
- 22 Ekologi perkembangbiakan kodok merah: Kodok merah amplexus pada malam dan siang hari (a, b); individu betina dewasa siap kawin dengan telur di dalam perut (c); telur kodok merah (d, Alhadi et al.

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 mengumunkan 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

	2025); bentuk dan warna berudu (e, f), geligi berudu (g,h); tahapan metamorfosis kodok merah yang terdokumentasikan (l, j, k, l).	34
23	Laporan penemuan sebaran baru kodok merah pada elevasi tinggi dan habitat terestrial	35
24	Metode <i>Visual Encounter Survey</i> (VES) kombinasi transek untuk pegumpulan data individu kodok merah di TNGGP.	44
25	Pengambilan foto dorsal (a,b); pengukuran bobot (c); pengukuran SVL (d)	45
26	Persiapan foto (a); analisis pola tubuh (b); dan identifikasi individual kodok merah (c)	47
27	Morfologi jantan dan betina kodok merah	50
28	Perbandingan bobot (a) dan SVL (b) jantan dan betina kodok merah	50
29	Variasi polimorfisme warna kodok merah	52
30	Konfigurasi pola (a) dan variasi ketegasan ekspresi pola dorsal kodok merah (b)	53
31	Distribusi variasi ketegasan ekspresi pola dorsal kodok merah	54
32	Distribusi variasi ketegasan ekspresi pola dorsal kodok merah pada jantan dan betina	55
33	Jumlah penangkapan kembali pada setiap sesi	57
34	Estimasi populasi kodok merah menggunakan metode CMR; total estimasi populasi gabungan TNGGP sebesar 1430 individu	58
35	Estimasi populasi kodok merah pada setiap metapopulasi di TNGGP	59
36	Ekpresi pola jam pasir pada ketiga spesies pada genus <i>Leptophryne</i>	62
37	Titik kehadiran dan prediktor lingkungan yang digunakan untuk pemodelan distribusi spesies kodok merah saat ini dan proyeksi perubahan iklim	68
38	Skema umum pemodelan distribusi spesies kodok merah (a); variabel lingkungan model kesesuaian habitat saat ini (b); dan variabel lingkungan model prediksi kesesuaian habitat saat ini dan masa depan dengan skenario perubahan iklim (c).	69
39	Model biner dengan <i>threshold</i> nilai MTP dan P10 memiliki nilai yang <i>over-prediction</i> (a); Pemodelan ini menggunakan <i>threshold</i> nilai TSS untuk model biner (b).	71
40	<i>Plausibility check</i> (pengecekan kelogisan ekologi) hasil pemodelan <i>Random Forest</i> (a); dan model <i>ensemble</i> (b).	75
41	Luas kesesuaian habitat kodok merah di TNGGP (warna merah merupakan kesesuaian tinggi)	76
42	Kontribusi setiap variabel terhadap penyusunan model (a); dan respon tiga variabel paling besar kontribusinya terhadap model.	77
43	Model distribusi kodok merah menggunakan skenario perubahan iklim tahun 2081-2100 berdasarkan 3 kelas kesesuaian habitat (a); dan model biner kelas distribusi dan non-distribusi (b).	78
44	Peta perubahan habitat (<i>loss and gain</i>) kodok merah di TNGGP pada tahun 2081-2100 dari skenario <i>baseline</i> ke skenario mitigasi (a) dan skenario <i>baseline</i> ke skenario BAU (b).	79



45

Pusat sebaran habitat kodok merah pada setiap model skenario iklim berdasarkan elevasi; terjadi kenaikan +27 mdpl dari skenario saat ini ke mitigasi dan penurunan elevasi -194 mdpl ke skenario BAU. 80

46

Peta kalkulasi *Extent of Occurrence* (EOO) dan *Area of Occupancy* (AOO) kodok merah 81

@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.