

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Berang-berang Cakar Kecil (*Aonyx cinereus*) adalah mamalia semi-akuatik yang memegang peran ekologis penting sebagai predator puncak dalam ekosistem perairan tawar (Kruuk, 2006; Hussain *et al.*, 2011; Wright *et al.*, 2021). Sebagai spesies terkecil dari subfamili Lutrinae, dengan berat tubuh berkisar antara 2–6 kg, keberadaan *A. cinereus* mencerminkan integritas dan keseimbangan ekosistem (Hussain *et al.*, 2011; Wright *et al.*, 2021). Melalui aktivitas mencari makan yang selektif, spesies ini membantu mengendalikan populasi invertebrata dan ikan kecil, serta berkontribusi pada siklus nutrisi yang mendukung kesehatan ekosistem secara lebih luas (Kruuk, 2006; Perinchery *et al.*, 2011). Peran *A. cinereus* sebagai bioindikator menjadikannya subjek studi yang krusial, karena kepekaannya terhadap degradasi habitat dan polusi dapat memberikan informasi vital tentang kesehatan ekosistem perairan secara keseluruhan, yang pada akhirnya juga memengaruhi kesejahteraan manusia (Aadreaan & Andeska, 2024; Kruuk, 2006; Wright *et al.*, 2021).

Pada taksonomi, spesies ini secara tradisional dikenal dengan nama ilmiah *Aonyx cinereus* (Hussain *et al.*, 2011; Kruuk, 2007; Wright *et al.*, 2021). Namun, penelitian filogenomik mutakhir yang dipublikasikan dalam jurnal *Current Biology* telah merevisi klasifikasi ini secara fundamental (Ferran *et al.*, 2022). Laporan tersebut, yang menganalisis 24 genom lengkap dari semua spesies belang-berang yang masih hidup, menemukan bahwa genera *Lutra*, *Aonyx*, *Amblonyx*, dan *Lutrogale* membentuk klad (kelompok monofiletik) yang koheren dan harus disinonimkan di bawah satu genus, yaitu *Lutra* (Ferran *et al.*, 2022). Revisi ini bukan sekadar perubahan nomenklatur, melainkan refleksi dari pemahaman yang lebih dalam mengenai sejarah evolusioner dan hubungan genetik antar spesies belang-berang.

Meskipun memiliki peran ekologis yang penting dan dilindungi oleh konvensi internasional (IUCN *Vulnerable*, CITES Appendix I), *A. cinereus* tidak terdaftar sebagai satwa dilindungi oleh peraturan hukum di Indonesia (Peraturan Menteri LHK No.P.106/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2018) (Gomez *et al.*, 2019; Gomez & Shepherd, 2018; Siriwat & Nijman, 2018; Wright *et al.*, 2021). Kondisi paradoks ini meningkatkan kerentanan spesies terhadap ancaman serius, termasuk hilangnya habitat dan degradasi, polusi lingkungan, konflik dengan manusia, dan perburuan ilegal untuk perdagangan hewan peliharaan (Gomez & Shepherd, 2018; Hussain *et al.*, 2011; Meijaard, 2014; Wright *et al.*, 2021). Urgensi studi mengenai populasi dan distribusinya menjadi sangat mendesak untuk merumuskan strategi konservasi yang efektif dan berbasis bukti ilmiah (Oktaliza *et al.*, 2023;

Quiñónez C. *et al.*, 2018). Meskipun status genetiknya secara keseluruhan menunjukkan kerentanan, data genomik memberikan dasar baru untuk mengevaluasi risiko kepunahan dan menginformasikan strategi konservasi yang lebih terarah (Ferran *et al.*, 2022). Studi ini menunjukkan bahwa populasi *Aonyx cinereus* (atau *Lutra cinerea*) memiliki keragaman genetik yang rendah. Dalam biologi, keragaman genetik yang rendah adalah tanda bahaya. Artinya, populasi tersebut rentan terhadap penyakit, perubahan iklim, atau cacat bawaan (*inbreeding depression*), meskipun jumlah individunya di alam terlihat banyak. Mereka mungkin "sehat" secara fisik, tapi "lemah" secara genetik.

Penelitian ini secara spesifik berfokus pada habitat riparian di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung, sebuah ekosistem sungai yang unik karena karakteristiknya yang bertransisi dari semi-alami di hulu hingga urban padat di hilir (Dhia *et al.*, 2024; Hermawan *et al.*, 2020). DAS sepanjang 119 km dengan luas tangkapan air $\pm 475 \text{ km}^2$ ini melintasi wilayah Jabodetabek yang sangat padat penduduk (Dhia *et al.*, 2024; Hermawan *et al.*, 2020). Sungai ini menghadapi berbagai masalah lingkungan yang kompleks, termasuk degradasi lahan, erosi, pencemaran air, dan hilangnya habitat alami akibat urbanisasi yang pesat dan aktivitas ekonomi intensif (Hermawan *et al.*, 2020). Data menunjukkan penurunan dramatis tutupan lahan alami dari 7,01% pada tahun 2000 menjadi 2,42% pada tahun 2008, sementara pada periode yang sama, lahan pemukiman meningkat tajam dari 20,93% menjadi 68,53% (Hikmah *et al.*, 2021).

Meskipun menghadapi kondisi habitat yang terdegradasi, studi terdahulu telah mengonfirmasi keberadaan *A. cinereus* di beberapa segmen DAS Ciliwung, menunjukkan adanya anomali ekologis dan kemampuan adaptasi spesies yang luar biasa terhadap lingkungan yang dimodifikasi secara antropogenik (Oktaliza *et al.*, 2023). *A. cinereus* diketahui memanfaatkan saluran drainase dan infrastruktur buatan sebagai koridor pergerakan, dan bahkan menunjukkan adaptasi diet dengan mengonsumsi spesies invasif seperti keong mas (*Pomacea canaliculata*) di sawah-sawah di Sumatera Barat (Aadrian & Andeska, 2024; Meijaard, 2014). Plastisitas ekologi ini mengindikasikan bahwa struktur buatan manusia dan keberadaan spesies asing telah beralih fungsi menjadi sumber daya pendukung yang vital bagi persistensi *A. cinereus* di ekosistem yang telah berubah secara drastis. Fenomena ini menegaskan kapasitas adaptif spesies tersebut dalam merespons munculnya 'ekosistem novel' (*novel ecosystems*), di mana elemen antropogenik seperti saluran beton dan mangsa invasif dimanfaatkan secara oportunistik untuk mengisi relung ekologis yang hilang akibat degradasi habitat alami.

Kehadiran berang-berang di sungai yang rentan terhadap banjir dan "meluap dengan sampah" ini menyoroti ketahanan luar biasa dari spesies ini dan kemampuannya untuk

berfungsi sebagai "*urban adapters*" (Meijaard, 2014). Namun, data distribusi spesies di DAS Ciliwung masih sangat terbatas, sehingga menghambat upaya konservasi yang efektif karena tidak ada landasan ilmiah yang kuat untuk mengidentifikasi area prioritas perlindungan atau mitigasi ancaman (Oktaliza *et al.*, 2023; Wright *et al.*, 2021).

Oleh karena itu, penelitian ini sangat diperlukan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan dan menyediakan data dasar yang andal untuk pengelolaan konservasi yang adaptif dan berkelanjutan di tengah tantangan urbanisasi yang terus meningkat. Penelitian sebelumnya di DAS Ciliwung telah mengidentifikasi nilai dan distribusi keanekaragaman hayati secara umum, namun studi spesifik mengenai populasi dan ekologi *A. cinereus* masih sangat terbatas (Wahyuni & Wijaya, 2015). Mengingat kondisi DAS Ciliwung yang terdegradasi dan padat penduduk, serta kurangnya data spesifik mengenai keberadaan spesies kunci seperti *A. cinereus*, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif distribusi spasial dan aspek ekologis beragam cakar kecil di DAS Ciliwung (Rachmat & Muhammad, 2018; Werdiantoro *et al.*, 2019).

Studi ini akan memberikan pemahaman mendalam tentang pola persebaran, preferensi habitat, dan interaksi ekologis spesies ini di lingkungan sungai yang sangat terfragmentasi dan termodifikasi, yang krusial untuk perumusan strategi konservasi yang tepat sasaran (Nilda *et al.*, 2015). Penelitian ini akan mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan utama yang memengaruhi distribusi beragam cakar kecil, termasuk kualitas air, ketersediaan mangsa, dan tutupan vegetasi riparian, untuk memprioritaskan area konservasi (Atmoko & Mukhlisi, 2021; Quintela *et al.*, 2012).

B. Rumusan Masalah

Memahami distribusi beragam cakar kecil sangat penting untuk upaya konservasi yang efektif. Survei distribusi membantu menentukan ukuran dan tren populasi, yang dapat digunakan untuk menilai status konservasi spesies dan mengidentifikasi area yang membutuhkan perlindungan. Namun, hingga saat ini, informasi mendasar mengenai pola okupansi dan preferensi habitat *A. cinereus* di ekosistem urban Sungai Ciliwung masih sangat terbatas (*data deficient*), sehingga status keberlanjutan populasinya di tengah tekanan pembangunan kota belum dapat dievaluasi secara akurat.

Studi distribusi memberikan informasi tentang di mana spesies tersebut ditemukan, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi habitat penting dan mengembangkan rencana pengelolaan. Informasi ini sangat penting untuk membuat keputusan konservasi yang tepat dan mengalokasikan sumber daya secara efektif (Oktaliza *et al.*, 2023; Quiñónez *et al.*, 2018).

Penelitian distribusi juga dapat membantu mengidentifikasi ancaman terhadap spesies, seperti hilangnya habitat, polusi, atau fragmentasi, yang kemudian dapat ditangani melalui tindakan konservasi spesifik (Gunawan *et al.*, 2024). Penelitian ini bertujuan untuk memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi strategi konservasi *A. cinereus* di DAS Ciliwung, mempertimbangkan kompleksitas ekosistem urban dan tekanan antropogenik yang berkelanjutan (Dhia *et al.*, 2024).

Berdasarkan kondisi DAS Ciliwung yang mengalami tekanan antropogenik tinggi dan keterbatasan data distribusi *A. cinereus*, penelitian ini merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola distribusi spasial *Aonyx cinereus* di DAS Ciliwung segmen 3-5?
2. Faktor habitat (abiotik dan biotik) dan antropogenik manakah yang berpengaruh signifikan terhadap probabilitas kehadiran spesies di wilayah studi?
3. Bagaimana tingkat kesesuaian habitat untuk *Aonyx cinereus* di berbagai segmen DAS Ciliwung dan implikasinya terhadap strategi konservasi?

Penelitian ini akan mengaplikasikan pendekatan ekologi spasial dan pemodelan prediktif untuk memetakan distribusi aktual dan potensial belang-berang cakar kecil, serta mengidentifikasi korelasi antara kehadiran spesies dengan parameter lingkungan spesifik (Martin *et al.*, 2023; Monterrubio-Rico & Charre-Medellín, 2014)

C. Tujuan Penelitian

Pemahaman mendalam mengenai pola distribusi belang-berang memegang peranan sentral dalam menjamin efektivitas upaya konservasi. Data yang diperoleh dari survei distribusi berfungsi sebagai instrumen vital untuk mengestimasi tren populasi, menilai status konservasi, serta memetakan area prioritas yang memerlukan perlindungan. Informasi ini sangat esensial dalam mengidentifikasi habitat kritis, yang kemudian menjadi dasar bagi perumusan rencana pengelolaan dan alokasi sumber daya yang tepat sasaran.

Selain itu, studi distribusi berperan penting dalam mendeteksi ancaman ekologis seperti degradasi habitat, pencemaran, dan fragmentasi wilayah sehingga langkah mitigasi yang spesifik dapat segera diterapkan. Penelitian ini dirancang untuk menyediakan landasan ilmiah yang kokoh bagi strategi pelestarian *Aonyx cinereus* pada habitat riparian di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung, dengan mempertimbangkan kompleksitas ekosistem perkotaan dan tekanan aktivitas manusia (antropogenik) yang terus berlangsung.

Mengingat peran strategis belang-berang sebagai predator puncak sekaligus bioindikator kesehatan ekosistem sungai, ketersediaan data dasar yang komprehensif menjadi prasyarat mutlak. Hal ini diperlukan untuk mendukung inisiatif konservasi berbasis bukti

(*evidence-based conservation*) serta memperkaya wawasan mengenai ekologi satwa liar di lanskap yang didominasi oleh manusia.

Berdasarkan tingginya tekanan antropogenik serta minimnya data mengenai keberadaan *Aonyx cinereus* di DAS Ciliwung, penelitian ini bertujuan untuk:

1. **Memetakan Distribusi Spasial:** Mengidentifikasi pola penyebaran *Aonyx cinereus* secara spesifik pada segmen 3 hingga 5 di DAS Ciliwung.
2. **Mengevaluasi Determinan Habitat:** Menganalisis pengaruh variabel lingkungan (biotik dan abiotik) serta faktor antropogenik terhadap probabilitas kehadiran spesies di area studi.
3. **Memvalidasi Model Prediksi:** Menguji akurasi model distribusi menggunakan pendekatan *Generalized Linear Mixed Model* (GLMM) guna memahami pola spasial dan faktor penentu keberadaan spesies secara lebih presisi.
4. **Merumuskan Strategi Konservasi:** Menyusun rekomendasi manajemen yang terarah bagi pengelolaan DAS Ciliwung berdasarkan hasil pemetaan kesesuaian habitat.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya konservasi dan pemahaman ekologi *Aonyx cinereus*, serta ekosistem perairan tawar secara lebih luas. Manfaat yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi manfaat ilmiah dan manfaat praktis, yang keduanya saling melengkapi dalam mendukung keberlanjutan lingkungan dan keanekaragaman hayati.

1. Manfaat Ilmiah

- a. **Pengayaan Data Ekologi Spesies:** Penelitian ini akan mengisi kesenjangan data ekologi *Aonyx cinereus* di lingkungan urban yang tertekan, khususnya di DAS Ciliwung, menyediakan informasi vital tentang distribusi spasial, preferensi habitat, dan adaptasi spesies di lanskap yang didominasi manusia.
- b. **Pemahaman Resiliensi Spesies:** Memberikan wawasan mendalam mengenai resiliensi *Aonyx cinereus* terhadap perubahan lingkungan antropogenik, yang dapat menjadi model bagi konservasi keanekaragaman hayati di ekosistem urban lainnya.
- c. **Pengembangan Metodologi Penelitian:** Mengintegrasikan data lapangan dengan analisis geospasial untuk menghasilkan peta distribusi dan model kesesuaian habitat yang akurat, serta mengevaluasi dampak kanalisasi terhadap habitat mikro dan keanekaragaman hayati akuatik, yang dapat menjadi rujukan metodologis untuk studi serupa.

- d. Kontribusi pada Ilmu Konservasi: Menambah khazanah pengetahuan ilmiah mengenai peran predator puncak dalam rantai makanan akuatik dan indikator kesehatan ekosistem sungai (Perinchery *et al.*, 2011). Hasil studi tentang faktor-faktor yang memengaruhi keberadaan dan penggunaan habitat oleh beragam-berang dapat membantu memprioritaskan area untuk upaya konservasi (Perinchery *et al.*, 2011)

2. Manfaat Praktis

- a. Dasar Perencanaan Konservasi: Menyediakan data dasar yang komprehensif untuk mendukung inisiatif konservasi yang berkelanjutan dan berbasis bukti di DAS Ciliwung, termasuk identifikasi area prioritas perlindungan dan mitigasi ancaman.
- b. Formulasi Kebijakan Konservasi Adaptif: Memberikan rekomendasi strategi konservasi yang terarah berdasarkan pemetaan kesesuaian habitat, serta mendukung formulasi kebijakan yang adaptif untuk pengelolaan DAS Ciliwung.
- c. Peningkatan Partisipasi Masyarakat: Menyoroti pentingnya partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sumber daya sungai dan upaya konservasi, mengingat peran krusial komunitas lokal dalam menjaga kelestarian DAS Ciliwung (Dhia *et al.*, 2024). Berbagai kegiatan konservasi dan edukasi yang melibatkan masyarakat dapat memberikan manfaat signifikan (Dhia *et al.*, 2024).
- d. Mitigasi Konflik Manusia-Satwa: Mengidentifikasi potensi konflik antara aktivitas manusia dan keberadaan beragam-berang guna mengembangkan strategi mitigasi yang efektif untuk meminimalkan dampak negatif.
- e. Pengembangan Program Konservasi Terpadu: Menjadi dasar bagi pengembangan program konservasi terpadu yang melibatkan pemerintah, akademisi, dan masyarakat lokal, guna menjaga keberlanjutan populasi beragam-berang cakar kecil di DAS Ciliwung.

3. Kebaruan Penelitian

Penelitian ini menyajikan beberapa kebaruan signifikan dalam studi ekologi dan konservasi *Aonyx cinereus* di lingkungan urban Indonesia. Pertama, penelitian ini mengisi kekosongan data mengenai distribusi dan ekologi *A. cinereus* di DAS Ciliwung yang sebelumnya sangat terbatas. Kedua, fokus geografis pada gradien urbanisasi (semi-urban hingga padat urban) memungkinkan pemahaman mendalam tentang resiliensi dan adaptasi spesies terhadap tekanan antropogenik. Ketiga, analisis terintegrasi yang menggabungkan

distribusi spasial, estimasi populasi, dan kesesuaian habitat memberikan gambaran holistik ekologi spesies. Keempat, penelitian ini secara spesifik mengukur dampak antropogenik dan mengidentifikasi ambang batas toleransi spesies. Kelima, aplikasi metodologi pengukuran spasial distribusi satwa liar di daerah urban menggunakan pendekatan geospasial dan pemodelan statistik lanjutan (GLMM) meningkatkan akurasi pemetaan habitat kritis. Keenam, analisis dampak faktor lingkungan terhadap ketersediaan mangsa memberikan pemahaman tentang dinamika rantai makanan di ekosistem sungai urban. Terakhir, penelitian ini merumuskan strategi konservasi adaptif berbasis bukti ilmiah yang praktis untuk keberlanjutan populasi *A. cinereus*.

E. Hipotesis Penelitian

Mengacu pada kerangka konseptual yang telah dibangun, penelitian ini mengajukan dugaan ilmiah sebagai berikut:

H1: Variasi Pola Distribusi Spasial dan Temporal Diduga terdapat perbedaan signifikan pada pola distribusi *Aonyx cinereus* di DAS Ciliwung yang dipengaruhi oleh zonasi sungai (segmen) dan variasi musim.

- a) **H1a (Variasi Segmen):** Probabilitas kehadiran *A. cinereus* bervariasi secara nyata di antara Segmen 3, 4, dan 5. Secara spesifik, segmen dengan tingkat urbanisasi yang lebih rendah diprediksi menunjukkan tingkat deteksi spesies yang lebih tinggi.
- b) **H1b (Variasi Musiman):** Terdapat perbedaan signifikan pada frekuensi deteksi *A. cinereus* antara periode musim kemarau dan musim hujan.

H2: Determinan Lingkungan dan Antropogenik Probabilitas kehadiran *A. cinereus* dipengaruhi secara signifikan oleh parameter kualitas air, ketersediaan sumber pakan, dan intensitas aktivitas manusia.

- a) **H2a (Kualitas Air):** Parameter fisika-kimia perairan (pH, TDS, dan suhu) memiliki korelasi dengan kehadiran spesies. Kondisi perairan dengan pH netral hingga alkalin serta kadar *Total Dissolved Solids* (TDS) yang rendah diasumsikan meningkatkan probabilitas kehadiran.
- b) **H2b (Ketersediaan Pakan):** Terdapat korelasi positif yang signifikan antara kelimpahan mangsa dengan peluang kehadiran *A. cinereus*.
- c) **H2c (Tekanan Antropogenik):** Intensitas gangguan manusia dan keberadaan infrastruktur memiliki pengaruh negatif (hubungan berbanding terbalik) terhadap probabilitas kehadiran spesies.

Catatan Metodologis:

- a) **Hipotesis Nol (H0):** Secara statistik, seluruh poin di atas diasumsikan memiliki Hipotesis Nol (H0) yang menyatakan tidak adanya perbedaan nyata atau hubungan signifikan antar-variabel yang diuji.
- b) **Analisis GLMM:** *Generalized Linear Mixed Model* (GLMM) diposisikan sebagai instrumen analitis untuk memvalidasi hipotesis H1 dan H2, sehingga tidak dirumuskan sebagai hipotesis tersendiri.

Verifikasi hipotesis dalam penelitian ini akan dilakukan melalui pendekatan analisis statistik multivariat, dengan fokus utama pada penggunaan *Generalized Linear Mixed Models* (GLMM). Metode ini dipilih untuk mengevaluasi secara komprehensif pengaruh variabel lingkungan dan tekanan antropogenik terhadap probabilitas kehadiran serta pola distribusi *Aonyx cinereus*.

Tahapan analisis spesifik untuk setiap hipotesis adalah sebagai berikut:

1. Analisis Variasi Spasial dan Temporal (Uji H1)

Untuk menguji perbedaan pola distribusi, metode komparatif non-parametrik akan diterapkan:

- a. **Metode:** Uji *Chi-square* (χ^2) atau *Fisher's Exact Test* (disesuaikan dengan ukuran sampel).

b. Variabel Analisis:

- 1) *H1a (Segmen):* Frekuensi deteksi antar segmen sungai.
- 2) *H1b (Musim):* Perbandingan frekuensi deteksi antara musim kemarau dan hujan.

- c. **Kriteria Keputusan:** Hipotesis nol (H0) akan ditolak jika nilai signifikansi (p-value) $< 0,05$.

2. Analisis Faktor Determinan Keberadaan (Uji H2)

Hubungan antara variabel prediktor dengan keberadaan spesies akan dimodelkan menggunakan GLMM dengan spesifikasi berikut:

- a. **Distribusi Model:** Binomial (untuk data biner *presence/absence*).
- b. **Variabel Respons:** Status kehadiran spesies.

c. Struktur Prediktor:

- 1) *Efek Tetap (Fixed Effects)*: Parameter kualitas air (pH, TDS, suhu), ketersediaan mangsa, dan tingkat gangguan antropogenik.
- 2) *Efek Acak (Random Effects)*: Segmen sungai (sebagai *random intercept*) untuk mengakomodasi variasi karakteristik antar lokasi.

Interpretasi: Signifikansi prediktor ditentukan pada taraf $p < 0,05$, dengan besaran pengaruh diinterpretasikan melalui nilai *Odds Ratio* dan selang kepercayaan (*Confidence Interval*) 95%.

3. Validasi dan Diagnostik Model

Untuk memastikan ketahanan (*robustness*) model dan akurasi interpretasi, serangkaian uji validasi asumsi akan dilakukan secara ketat, meliputi:

- a. **Uji Multikolinearitas:** Menggunakan *Variance Inflation Factor* (VIF) untuk mendeteksi korelasi antar variabel bebas.
- b. **Diagnostik Residual:** Menggunakan paket simulasi DHARMA untuk mengevaluasi distribusi sisaan model.
- c. **Validasi Performa:** Menerapkan *Cross-validation* serta evaluasi *Goodness-of-Fit* menggunakan parameter AIC (*Akaike Information Criterion*), BIC (*Bayesian Information Criterion*), dan nilai AUC (*Area Under the Curve*).