



Ubaedillah¹
 Irwan Faizal^{2*}
 Febria Roza³

MANAJEMEN WILDLIFE HAZARD DI BANDAR UDARA: ANALISIS TANTANGAN DAN STRATEGI MITIGASI BERBASIS TEKNOLOGI DAN PENGELOLAAN HABITAT

Abstrak

Risiko wildlife hazard di bandar udara, khususnya bird strike, merupakan ancaman serius terhadap keselamatan penerbangan yang semakin meningkat seiring urbanisasi dan perubahan ekosistem sekitar bandar udara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tantangan dalam pengelolaan bahaya satwa liar serta mengevaluasi strategi mitigasi berbasis teknologi dan pengelolaan habitat. Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode pengumpulan data yang dilakukan melalui studi pustaka dan analisis dokumen dari berbagai studi kasus di Indonesia dan luar negeri. Hasil menunjukkan bahwa pengelolaan risiko satwa liar belum optimal akibat keterbatasan sumber daya manusia, teknologi, dan koordinasi antarunit. Teknologi seperti radar ornithologi dan GIS terbukti membantu pemetaan zona risiko, sementara pengelolaan vegetasi dan sumber air memainkan peran penting dalam mengurangi daya tarik habitat. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kebijakan keselamatan penerbangan yang adaptif dan berbasis ekologi. Kesimpulan menekankan perlunya integrasi strategi teknologi dan habitat, peningkatan kapasitas kelembagaan, serta penelitian lebih lanjut dengan pendekatan lapangan dan partisipatif untuk memperkaya pemahaman dan efektivitas mitigasi di berbagai konteks.

Kata Kunci: Wildlife Hazard, Bird Strike, Keselamatan Penerbangan, Mitigasi Risiko, Pengelolaan Habitat.

Abstract

Wildlife hazard risks at airports, particularly bird strikes, pose a serious threat to aviation safety and are increasingly prevalent due to urbanization and changes in surrounding ecosystems. This study aims to analyze the challenges in managing wildlife hazards and to evaluate mitigation strategies based on technology and habitat management. A descriptive qualitative approach was employed, using literature review and document analysis from various case studies in Indonesia and abroad. The findings reveal that wildlife risk management remains suboptimal due to limited human resources, technology gaps, and poor interdepartmental coordination. Technologies such as ornithological radar and GIS have proven effective in mapping risk zones, while vegetation and water resource management play a key role in reducing habitat attractiveness. This study contributes to the development of adaptive, ecology-based aviation safety policies. It concludes by emphasizing the need for integrated technological and habitat strategies, institutional capacity building, and further research through field-based and participatory approaches to enhance understanding and effectiveness across diverse airport contexts.

Keywords: Wildlife Hazard, Bird Strike, Aviation Safety, Risk Mitigation, Habitat Management.

PENDAHULUAN

Keselamatan penerbangan merupakan prioritas utama dalam industri penerbangan global. Salah satu ancaman signifikan terhadap keselamatan penerbangan adalah keberadaan satwa liar di sekitar kawasan bandar udara yang dapat menyebabkan insiden wildlife strike, terutama bird strike, yang berdampak langsung terhadap pesawat dalam fase kritis seperti lepas landas dan mendarat. Studi kasus di Bandar Udara Soekarno-Hatta mengidentifikasi beberapa spesies burung dengan risiko tinggi menyebabkan bird strike, yaitu Blekok sawah (*Ardeola speciosa*), Kuntul kerbau (*Bubulcus ibis*), Kuntul perak (*Ardea intermedia*), Cangak merah (*Ardea*

^{1,2,3)}Operasi Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
 ubaedillah@ppicurug.ac.id, Irwan.faizal@ppicurug.ac.id, febria.roza@ppicurug.ac.id

purpurea), dan Bangau bluwok (Mycteria cinerea). Hal ini menekankan pentingnya penilaian risiko dan pengelolaan habitat untuk mengurangi potensi bird strike (Mora et al., 2021).

Peristiwa Hudson River tahun 2009 menjadi pengingat global bahwa risiko satwa liar bukan hanya isu teknis, tetapi juga menyangkut nyawa manusia dan citra penerbangan sipil (Atwell, 2014). Di banyak negara, ancaman ini semakin meningkat seiring dengan urbanisasi bandar udara yang berdekatan dengan habitat alami satwa liar. Kondisi serupa terjadi juga di berbagai wilayah lain seperti Zambia dan Australia yang melaporkan tingginya frekuensi insiden akibat kurangnya pengelolaan habitat dan keterbatasan teknologi mitigasi (Musonda et al., 2024). Fenomena ini bukan hanya terjadi di bandar udara besar saja, akan tetapi terjadi pula di bandar udara kecil yang seringkali berada di wilayah rural dengan banyak lahan pertanian atau badan air yang menjadi daya tarik bagi burung dan satwa lainnya. Penelitian di Bandar Udara Internasional Aji Pangeran Tumenggung Pranoto Samarinda mengungkap bahwa keberadaan hewan liar seperti anjing yang memasuki area manuver dan pergerakan pesawat sering menghambat operasi penerbangan. Studi tersebut menekankan pentingnya fokus yang lebih intensif dalam mengelola keberadaan satwa liar guna meningkatkan tingkat keselamatan dalam operasional penerbangan, termasuk pembentukan tim pencegahan dan perbaikan infrastruktur untuk mencegah akses hewan liar ke area kritis bandar udara. (Aswiratin et al., 2024).

Meskipun berbagai regulasi dan rencana seperti Wildlife Hazard Management Plan (WHMP) telah diterapkan di banyak negara, kesenjangan masih terlihat antara kebijakan dan implementasi di lapangan. Salah satu tantangan utamanya adalah keterbatasan sumber daya manusia, minimnya pelatihan teknis, dan kurangnya dukungan teknologi di bandar udara di negara berkembang (Musonda et al., 2024). Hal ini menunjukkan perlunya solusi adaptif yang disesuaikan dengan konteks lokal. Teknologi seperti Geographic Information System (GIS) telah terbukti membantu dalam pemetaan habitat dan jalur terbang satwa liar untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Implementasi GIS di Bandar udara Internasional Dallas-Fort Worth mampu mengintegrasikan data pergerakan burung dengan penggunaan runway sehingga membantu identifikasi zona risiko tinggi secara visual (Herrick et al., 2003). Namun demikian, pemanfaatan teknologi ini belum menyeluruh dan seringkali terkendala oleh keterbatasan akses dan kapasitas pengguna.

Selain teknologi, pendekatan ekologi melalui manajemen habitat juga memainkan peran penting dalam mengurangi daya tarik bandar udara terhadap satwa liar. Pengaturan jenis vegetasi, pengelolaan air, dan penghilangan sumber makanan satwa merupakan beberapa strategi yang telah terbukti menurunkan insiden strike (Barras & Seamans, 2002). Namun studi juga menunjukkan bahwa efektivitas metode tersebut bersifat kontekstual dan memerlukan penyesuaian berdasarkan spesies dominan di masing-masing lokasi. Baru-baru ini, metode molekuler seperti DNA barcoding digunakan untuk menganalisis pola makan burung yang mengalami bird strike. Studi oleh Chen et al. (2023) di China menunjukkan bahwa analisis DNA dari isi pencernaan burung dapat mengidentifikasi jenis makanan dan habitat yang menarik burung ke kawasan bandar udara, sehingga memberikan masukan untuk strategi mitigasi yang lebih presisi (Chen et al., 2023). Studi-studi tersebut menunjukkan pentingnya pendekatan multidisipliner dan multi-stakeholder dalam manajemen wildlife hazard. Tidak cukup hanya mengandalkan metode reaktif seperti pengusiran atau pemburuan satwa, tetapi dibutuhkan strategi jangka panjang yang mengintegrasikan kebijakan, teknologi, ekologi, dan partisipasi komunitas lokal (Atwell, 2014). Namun hingga saat ini, masih minim penelitian yang secara spesifik membahas integrasi strategi teknologi dan pengelolaan habitat dalam konteks manajemen risiko satwa liar secara sistematis dan komparatif antar bandar udara. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian yang mendalam mengenai tantangan-tantangan dalam implementasi di berbagai konteks serta bagaimana inovasi strategi dapat diadopsi secara lebih luas. Tantangan seperti keterbatasan sumber daya, kurangnya pelatihan, dan infrastruktur yang belum memadai masih menjadi hambatan dalam implementasi strategi mitigasi yang efektif. Selain itu diperlukan juga koordinasi antar unit mendukung pengendalian bahaya satwa liar di bandar udara. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi potensi gangguan, menilai tingkat risiko, dan mengendalikan keberadaan hewan liar (Budiarti et al., 2023).

Studi ini bertujuan untuk menganalisis tantangan dalam pengelolaan wildlife hazard di bandar udara serta mengkaji berbagai strategi mitigasi berbasis teknologi dan manajemen

habitat yang telah diterapkan. Diharapkan temuan dari penelitian ini mampu memberikan sumbangan berarti bagi pengembangan kebijakan keselamatan penerbangan yang lebih adaptif, kontekstual, dan berkelanjutan. Dengan demikian, pengelolaan bahaya satwa liar yang efektif di bandar udara, terutama di Indonesia akan berkontribusi signifikan terhadap peningkatan keselamatan penerbangan dan operasional bandar udara secara keseluruhan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis, karena bertujuan untuk menguraikan secara mendalam tantangan dan strategi yang digunakan dalam manajemen wildlife hazard di bandar udara. Pendekatan deskriptif memungkinkan peneliti menjelaskan fenomena yang diamati secara naratif dan menyeluruh, sedangkan analisis dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan, efektivitas, serta konteks penerapan strategi mitigasi.

Rancangan Penelitian

Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi tantangan dalam pengelolaan risiko satwa liar (wildlife hazard) serta menelaah strategi mitigasi berbasis teknologi (seperti GIS, bird radar, sistem pengusir satwa) dan manajemen habitat (pengelolaan vegetasi dan sumber air). Tujuannya adalah memberikan masukan terhadap pengembangan kebijakan keselamatan penerbangan yang lebih kontekstual dan berkelanjutan, terutama di bandar udara-bandar udara di Indonesia.

Sumber Data

Data dan informasi yang digunakan dalam studi ini bersumber dari kajian literatur yang mencakup jurnal ilmiah, laporan studi kasus, dan dokumen kebijakan nasional maupun internasional. Beberapa sumber primer meliputi penelitian di bandar udara Soekarno-Hatta, Aji Pangemanan Tumenggung Pranoto, dan Bandar udara Dallas-Fort Worth, serta rujukan dari FAA dan ICAO mengenai pengelolaan WHMP. Sumber ini memperkuat keabsahan analisis yang dilakukan dan memungkinkan pembandingan lintas konteks geografis.

Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang diterapkan mencakup analisis dokumen dan telaah literatur. Data dikumpulkan dari artikel ilmiah, hasil penelitian terdahulu, dokumen kebijakan penerbangan, serta hasil observasi lapangan yang tertuang dalam laporan penelitian. Teknik ini efektif untuk mengumpulkan data historis, kebijakan yang berlaku, dan praktik terbaik dari berbagai bandar udara di dunia.

Teknik Analisis Data

Proses analisis data dilakukan dengan pendekatan tematik dalam kerangka kualitatif, dengan langkah-langkah seperti :

- Koding awal terhadap isu-isu utama seperti tantangan implementasi, efektivitas teknologi, dan faktor ekologis,
- Kategorisasi data ke dalam tema seperti pendekatan teknologi, pengelolaan habitat, dan koordinasi kelembagaan,
- Sintesis temuan untuk membandingkan pendekatan di berbagai lokasi dan menilai keberhasilannya berdasarkan konteks lokal.

Validitas dan Keandalan

Untuk menjamin validitas dan keandalan data, penelitian ini menggunakan triangulasi sumber-menggabungkan berbagai referensi dari jurnal ilmiah bereputasi, regulasi resmi, dan laporan studi kasus aktual. Selain itu, penggunaan data dari konteks global dan lokal memperkuat generalisasi temuan sekaligus memberikan nuansa kontekstual yang relevan.

Kesesuaian Metode dengan Tujuan

Metode yang digunakan sangat sesuai dengan tujuan untuk mengeksplorasi dan menjelaskan praktik manajemen risiko satwa liar secara mendalam. Pendekatan kualitatif memungkinkan eksplorasi multi-dimensi atas masalah teknis, ekologis, dan kelembagaan yang tidak dapat dijelaskan secara kuantitatif saja. Fokus pada dokumentasi empiris dari berbagai lokasi juga membantu memberikan gambaran komparatif.

Hasil yang Diharapkan dan Kontribusi

Dengan metode ini, penelitian berhasil menyajikan analisis menyeluruh mengenai bagaimana strategi mitigasi wildlife hazard dapat dioptimalkan melalui pendekatan teknologi dan pengelolaan habitat. Hasil penelitian diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan

kebijakan keselamatan penerbangan yang lebih berbasis data, kontekstual, dan kolaboratif antar-stakeholder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Penyebab Meningkatnya Risiko Wildlife Hazard

Salah satu penyebab utama meningkatnya risiko wildlife hazard di bandar udara adalah kondisi ekologis dan habitat sekitar bandar udara. Bandar udara yang dikelilingi oleh padang rumput luas, lahan pertanian, atau perairan terbuka cenderung menarik satwa liar, terutama burung dan mamalia kecil. Sumber makanan seperti serangga, biji-bijian, dan ikan menjadi daya tarik utama bagi satwa, sehingga meningkatkan kemungkinan interaksi berbahaya dengan pesawat (Belant & Ayers, 2014). Perubahan iklim juga memainkan peran penting dalam meningkatkan risiko. Pola migrasi burung berubah akibat perubahan suhu global, menggeser jalur migrasi dan waktu bermigrasi yang seringkali tumpang tindih dengan rute penerbangan. Selain itu, musim berkembang biak dan sumber daya alam seperti air dan vegetasi juga terdampak, mendorong burung dan hewan lain untuk mencari habitat baru di sekitar bandar udara.

Aktivitas manusia, seperti urbanisasi dan alih fungsi lahan, juga turut mendorong satwa liar menuju area bandar udara. Pembangunan kawasan industri atau pemukiman baru yang merambah habitat alami memaksa banyak spesies untuk beradaptasi dan bermigrasi ke area terbuka lainnya, termasuk wilayah bandar udara. Akibatnya, interaksi antara pesawat dan satwa menjadi lebih sering terjadi, meningkatkan risiko tabrakan (Washburn & Seamans, 2004).

Selain faktor lingkungan dan manusia, kurangnya pengelolaan habitat yang proaktif juga menjadi penyebab signifikan. Bandar udara yang tidak memiliki strategi jangka panjang dalam pengelolaan lanskap dan kontrol satwa cenderung mengalami lebih banyak insiden. Hal ini diperparah jika tidak ada sistem pemantauan yang mendeteksi perubahan populasi atau aktivitas satwa secara berkala. Oleh karena itu, pendekatan yang sistematis dan berbasis data sangat dibutuhkan untuk mengantisipasi dan mengurangi potensi risiko dari wildlife hazard (T. Devault et al., 2009).

Strategi Mitigasi Berbasis Teknologi

Penggunaan teknologi telah menjadi tulang punggung dalam pendekatan modern untuk mitigasi wildlife hazard di bandar udara. Sistem deteksi dan pemantauan satwa kini telah dikembangkan dengan teknologi canggih seperti radar ornithologi (bird radar), kamera termal, dan drone. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap keberadaan burung atau mamalia yang mendekat ke area kritis di sekitar landasan pacu. Radar ornithologi khususnya telah terbukti efektif dalam mengidentifikasi pergerakan kawanan burung secara real-time sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan tepat.

Selain deteksi, teknologi pengusir satwa (wildlife deterrent systems) juga mengalami perkembangan pesat. Sistem seperti penggunaan laser, suara ultrasonik, piroteknik, serta drone yang dirancang khusus untuk menakuti burung terbukti mampu mengurangi aktivitas satwa liar di area bandar udara. Namun, efektivitasnya sering kali bersifat sementara, karena banyak spesies burung dapat beradaptasi terhadap teknik-teknik ini. Oleh karena itu, penggunaannya perlu digabungkan dalam sistem rotasi atau dikombinasikan dengan metode lain agar tetap efektif (Washburn & Seamans, 2004).

Teknologi lain yang mendukung manajemen risiko adalah sistem peringatan dini berbasis data. Bandar udara seperti DFW di Amerika Serikat telah mengintegrasikan ribuan laporan wildlife strike dengan data geospasial menggunakan teknologi GIS (Geographic Information System). Dengan pendekatan ini, area-area rawan dapat dipetakan dan dianalisis secara visual dalam bentuk dua dimensi maupun tiga dimensi, sehingga operator bandar udara dapat merencanakan mitigasi yang lebih tepat sasaran (Herrick et al., 2003). Meskipun teknologi memberikan banyak solusi, tantangan tetap ada dalam hal biaya dan operasional. Tidak semua bandar udara, khususnya yang lebih kecil atau regional, memiliki anggaran yang cukup untuk mengimplementasikan sistem-sistem canggih ini. Oleh karena itu, penting untuk menyesuaikan strategi teknologi dengan kapasitas masing-masing bandar udara serta melibatkan pelatihan teknis bagi petugas di lapangan untuk memastikan pengoperasian yang efektif dan efisien (Lewis & Caudell, 2015).

Strategi Mitigasi Berbasis Pengelolaan Habitat

Pengelolaan habitat di area bandar udara merupakan strategi jangka panjang yang terbukti efektif untuk mengurangi ketertarikan satwa liar terhadap lingkungan bandar udara. Tujuan utama dari strategi ini adalah meminimalkan daya tarik ekosistem terhadap satwa berisiko tinggi dengan cara mengelola vegetasi, sumber air, dan elemen habitat lainnya. Bandar udara yang memiliki padang rumput tinggi, semak-semak lebat, atau genangan air akan lebih menarik bagi burung dan mamalia, sehingga penting untuk merancang lanskap yang tidak mendukung kebutuhan dasar satwa tersebut (Belant & Ayers, 2014). Salah satu metode umum yang digunakan adalah pemangkas vegetasi untuk menciptakan lingkungan yang kurang menarik bagi burung pemakan biji atau pemangsa kecil seperti raptor. Namun, pendekatan ini perlu hati-hati karena vegetasi terlalu pendek dapat memicu masalah lain seperti menarik spesies lain. Penelitian menunjukkan bahwa ketinggian rumput optimal bisa berbeda tergantung pada jenis spesies yang dominan di wilayah bandar udara. Oleh karena itu, pengelolaan vegetasi harus disesuaikan dengan konteks lokal dan spesies target yang ingin dihindari (Barras & Seamans, 2002).

Pengelolaan sumber daya air juga merupakan aspek krusial dalam habitat management. Genangan air dan kolam dapat menarik berbagai spesies air seperti burung camar dan angsa yang dikenal sangat berbahaya bagi pesawat. Oleh karena itu, modifikasi drainase, penggunaan sistem pencegah genangan, serta penghapusan area perairan buatan sering kali menjadi langkah strategis yang diambil oleh pengelola bandar udara untuk mengurangi risiko ini (Washburn & Seamans, 2004).

Selain pengelolaan fisik, penting juga untuk menerapkan kebijakan operasional dan prosedur standar pengendalian habitat. Ini termasuk inspeksi rutin, penggunaan laporan data observasi satwa, serta pelatihan staf untuk mengenali perubahan yang berpotensi meningkatkan risiko. Pengelolaan habitat yang efektif memerlukan kolaborasi lintas disiplin, termasuk melibatkan ahli ekologi, pengelola bandar udara, dan pejabat lingkungan untuk memastikan bahwa intervensi tidak hanya efektif tetapi juga sesuai regulasi perlindungan lingkungan (T. Devault et al., 2009).

Pendekatan Manajemen Risiko dan Keamanan Penerbangan

Manajemen risiko menjadi elemen penting dalam pengelolaan wildlife hazard di bandar udara karena memungkinkan penilaian sistematis terhadap kemungkinan dan dampak dari peristiwa tabrakan satwa. Model penilaian risiko biasanya mencakup dua dimensi utama, yaitu frekuensi kejadian (berapa sering terjadi wildlife strike) dan tingkat keparahan (kerusakan yang ditimbulkan terhadap pesawat atau keselamatan penumpang). Dengan menggunakan data historis dan observasi lapangan, pengelola bandar udara dapat memprioritaskan spesies atau area yang paling berisiko untuk dilakukan mitigasi terlebih dahulu (T. L. Devault et al., 2011).

Penilaian risiko juga menjadi dasar penting dalam pengembangan Wildlife Hazard Management Plan (WHMP) yang terintegrasi dengan Safety Management System (SMS) bandar udara. SMS merupakan kerangka kerja yang digunakan oleh otoritas penerbangan untuk mengelola risiko secara proaktif. Dalam konteks wildlife hazard, WHMP yang baik harus mampu menunjukkan bagaimana pengumpulan data, pelaporan insiden, respons darurat, dan evaluasi efektivitas dilakukan secara konsisten dan terdokumentasi dengan baik (Rillstone & Dineen, 2013). Pendekatan berbasis data dan sains terbukti meningkatkan efektivitas dalam mengurangi risiko. Banyak bandar udara kini menggunakan teknologi pemetaan risiko berbasis GIS, mengombinasikan data strike, keberadaan satwa, dan pola penerbangan untuk visualisasi daerah kritis. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat respons, tetapi juga memungkinkan perencanaan jangka panjang berbasis bukti. Dalam banyak kasus, intervensi yang ditargetkan berdasarkan peta risiko menghasilkan pengurangan signifikan pada jumlah dan dampak wildlife strike (Herricks et al., 2003).

Agar pendekatan ini efektif, perlu adanya pelatihan berkelanjutan bagi staf bandar udara dan integrasi lintas fungsi antar departemen. Kesuksesan manajemen risiko tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada budaya keselamatan dan komitmen organisasi untuk terus menerapkan perbaikan berkelanjutan. Kerja sama dengan ahli biologi satwa liar, konsultan keselamatan penerbangan, dan otoritas penerbangan sipil menjadi kunci dalam membangun sistem yang adaptif dan responsif terhadap dinamika ekologi sekitar bandar udara.

Hasil dan Temuan

Penelitian ini menyajikan beberapa temuan penting yang mendukung tujuan kajian, yaitu mengidentifikasi tantangan serta mengevaluasi strategi mitigasi risiko satwa liar (wildlife hazard) di area bandar udara. Hasil dikumpulkan dari studi pustaka dan studi kasus di berbagai lokasi :

1) Jenis Satwa Penyebab Ancaman

Temuan awal menunjukkan bahwa di Bandar Udara Soekarno-Hatta, lima spesies burung paling berisiko menyebabkan bird strike:

- Blekok sawah (Ardeola speciosa)
- Kuntul kerbau (Bubulcus ibis)
- Kuntul perak (Ardea intermedia)
- Cangak merah (Ardea purpurea)
- Bangau bluwok (Mycteria cinerea)

Hal ini memperkuat pentingnya analisis spesifik berdasarkan jenis burung yang dominan di lokasi masing-masing (Mora et al., 2021).

2) Faktor Penyebab Wildlife Hazard

Berbagai faktor penyebab teridentifikasi, termasuk:

- Urbanisasi bandar udara dekat habitat alami (Zambia, Australia)
- Kurangnya pengelolaan habitat
- Minimnya teknologi mitigasi
- Kondisi lingkungan yang menarik satwa (air, vegetasi, makanan)

3) Strategi Mitigasi Teknologi

Penggunaan teknologi seperti :

- Radar Ornithologi : mendekripsi pergerakan burung secara real-time.
- GIS (Geographic Information System) : digunakan di DFW Airport, memetakan zona risiko berbasis data pergerakan burung dan runway (Herrick et al., 2003).
- Drone & Laser Deterrents : digunakan untuk mengusir burung, meskipun efeknya bersifat jangka pendek.

4) Strategi Mitigasi Habitat

Studi menekankan pentingnya pengelolaan lingkungan sekitar :

- Pengurangan vegetasi tinggi
- Drainase untuk mencegah genangan air
- Pemusnahan sumber makanan satwa liar Strategi ini disesuaikan dengan spesies lokal agar efektif (Barras & Seamans, 2002)

5) Temuan Studi Kasus Lokal

Studi di Bandar udara APT Pranoto Samarinda menunjukkan ancaman dari mamalia seperti anjing liar yang memasuki area manuver pesawat, dan menekankan kebutuhan infrastruktur serta personel khusus mitigasi (Aswiratin et al., 2024).

6) Tantangan Implementasi

Tantangan utama mencakup:

- Keterbatasan SDM dan pelatihan teknis
- Kurangnya dukungan anggaran dan infrastruktur
- Kesenjangan antara kebijakan dan implementasi lapangan (Musonda et al., 2024).

Tabel 1. Ringkasan Strategi dan Tantangan

Strategi	Contoh Lokasi	Tantangan
Radar ornithologi	DFW Airport, AS	Biaya tinggi, teknis rumit
Pengelolaan vegetasi	Bandar udara di AS & EU	Perlu adaptasi lokal
Pengusir satwa (drone)	Beberapa bandar udara Asia	Efek sementara, adaptasi hewan
Koordinasi WHMP	Jackson Hole, AS	Butuh kolaborasi lintas sektor

Analisis dan Interpretasi Temuan

1) Keterkaitan dengan Teori dan Penelitian Sebelumnya

Temuan penelitian mendukung pendekatan berbasis ekologi perilaku dan mitigasi struktural dalam mengelola wildlife hazard, sebagaimana ditekankan oleh Devault et al. (2011) dalam teori tentang interaksi antara satwa dan lingkungan bandar udara. Pendekatan integratif

berbasis WHMP yang direkomendasikan FAA dan ICAO juga dikonfirmasi relevansinya dalam konteks Indonesia (Rillstone & Dineen, 2013)

2) Implikasi Temuan

- Penelitian menunjukkan bahwa teknologi canggih (GIS, bird radar) sangat efektif, namun tidak universal karena terkendala biaya dan kapasitas SDM.
- Manajemen habitat terbukti penting dan dapat diterapkan di hampir semua bandar udara, dengan penyesuaian spesifik terhadap ekosistem lokal.
- Kebutuhan kolaborasi lintas sektor (otoritas bandar udara, ahli ekologi, teknisi) menjadi hal yang krusial untuk efektivitas strategi mitigasi.

3) Kontribusi terhadap Ilmu dan Kebijakan

Studi ini menambahkan pemahaman kontekstual bahwa keberhasilan mitigasi tidak hanya tergantung pada teknologi, tetapi juga pada :

- Adaptabilitas strategi terhadap kondisi lokal
- Penyusunan kebijakan yang responsif terhadap dinamika satwa liar
- Kesiapan kelembagaan dalam menerapkan WHMP secara sistematis

4) Faktor yang Mempengaruhi Hasil

- Positif: Teknologi tepat guna, pelatihan SDM, pendanaan
- Negatif: Adaptasi satwa terhadap pengusiran, ketidakmerataan implementasi teknologi, keterbatasan koordinasi

5) Keterbatasan Penelitian

- Tidak dilakukan survei langsung atau observasi lapangan yang mendalam
- Ketergantungan pada data sekunder dan studi kasus
- Belum menyertakan simulasi kuantitatif atau prediktif dampak strategi mitigasi

6) Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

- Lakukan observasi lapangan dan wawancara dengan pengelola bandar udara
- Gunakan pendekatan mixed-method untuk menggabungkan data kualitatif dan kuantitatif Kajian longitudinal atas efektivitas strategi mitigasi di berbagai musim dan fase pembangunan bandar udara

SIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa pengelolaan wildlife hazard di bandar udara memerlukan pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan teknologi mitigasi dan pengelolaan habitat secara kontekstual. Temuan menunjukkan bahwa keberadaan satwa liar di sekitar bandar udara sangat dipengaruhi oleh kondisi ekologis, kelemahan infrastruktur, serta keterbatasan sumber daya manusia, dan bahwa penerapan teknologi seperti radar ornithologi dan GIS, meskipun efektif, masih menghadapi kendala implementasi di banyak wilayah. Penelitian ini memperkaya pemahaman teoretis tentang interaksi antara manusia, teknologi, dan lingkungan dalam konteks keselamatan penerbangan, serta memperluas kontribusi terhadap literatur tentang manajemen risiko berbasis ekologi dan kebijakan keselamatan penerbangan.

Secara sosial dan budaya, temuan ini mendorong pentingnya partisipasi lintas sektor dan kesadaran komunitas terhadap keselamatan penerbangan yang lebih holistik dan berkelanjutan. Keterbatasan penelitian meliputi minimnya data lapangan dan pendekatan kuantitatif, sehingga studi lanjutan disarankan untuk menggunakan metode campuran (mixed-method) dan analisis longitudinal guna memperkuat validitas dan aplikabilitas hasil dalam berbagai konteks geografis dan operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Annex 14, ICAO doc. 9137, part 3 tentang Wildlife Control and Reduction
 Annex 14 , ICAO Doc. 9184 Part 2. Land Use and Environmental Control;
 Aswiratin, C. A., Amir, E., & Saulina, M. (2024). Manajemen Penanganan Hewan Liar (Wildlife Hazard) Terhadap Keselamatan Penerbangan di Bandar Udara Internasional Aji Pangeran Tumenggung Pranoto Samarinda. Aviation Business and Operations Journal, 1(02), 63–67. <https://doi.org/10.54147/jobp.v1i02.827>
 Atwell, N. (2014). Wildlife in Airport Environments: Preventing Animal-Aircraft Collisions Through Science-Based Management Travis I. DeVault Bradley F. Blackwell Jerrold L.

- Belant Wildlife in Airport Environments: Preventing Animal-Aircraft Co. Animal Behaviour, 91. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.03.002>
- Barras, S., & Seamans, T. (2002). Habitat Management Approaches for Reducing Wildlife Use of Airfields. 20. <https://doi.org/10.5070/V420110146>
- Belant, J., & Ayers, C. (2014). Habitat Management to Deter Wildlife at Airports. <https://doi.org/10.17226/22375>
- Budiarti, F., Tinggi, S., & Kedirgantaraan, T. (2023). Pengendalian Wildlife Hazard oleh Unit Safety Risk & Quality Control di Area Airside Bandar Udara Internasional H.A.S. Hanandjoeddin Tanjung Pandan. Student Research Journal, 1(4), 263–275. <https://doi.org/10.55606/srjyappi.v1i4>
- Chen, W., Miao, K., Liu, Y., Zhang, J., Zhao, Y., Hu, D., Wang, P., Li, P., Chang, Q., & Hu, C. (2023). Using DNA barcoding and field surveys to guide wildlife management at Nanjing Lukou International Airport, China. Ecology and Evolution, 13. <https://doi.org/10.1002/ece3.10005>
- Devault, T., Kubel, J., Rhodes, O., & Dolbeer, R. (2009). Habitat and Bird Communities at Small Airports in the Midwestern USA. <http://consensus.app/papers/habitat-and-bird-communities-at-small-airports-in-the-devault-kubel/694b8d096692540cbe11f65714571348/>
- Devault, T. L., Belant, J. L., Blackwell, B. F., & Seamans, T. W. (2011). Interspecific variation in wildlife hazards to aircraft: Implications for airport wildlife management. Wildlife Society Bulletin, 35(4), 394–402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wsb.75>
- Harmon, L., & Hirschert, D. (2016). Managing safety and wildlife at Jackson Hole Airport. Journal of Airport Management. <https://doi.org/10.69554/myni2202>
- Herrick, E., Fisher, J., Kuehner, C., & Hovan, M. (2003). Application of GIS Technologies to Wildlife Management at DFW Airport. <http://consensus.app/papers/application-of-gis-technologies-to-wildlife-management-at-herrick-fisher/4f088600d09854bdbbd67db3eb56b4bbe/>
- Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 Tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standard CASR Part 139) Volume I Aerodrome Daratan.
- Lewis, R., & Caudell, J. (2015). Review of Wildlife Hazard Mitigation Techniques on General Aviation Airports. <http://consensus.app/papers/review-of-wildlife-hazard-mitigation-techniques-on-lewis-caudell/ab202a5777f85bf3bde64f514ebebdbd/>
- Mora, M., Bashory, M. H., Saaroni, Y., Setiadi, T., Rakhman, Z., & Sitompul, R. (2021). WARTA ARDHIA Jurnal Perhubungan Udara Risk Assessment on Birds Population in the Airport Case study : Soekarno-Hatta Airport. 9066, 82–93.
- Musonda, K., Joe, K. C., Zingapeta, E., & Njovu, E. (2024). Bird Hazard Management At Zambian Airports: A Critical Analysis Of Current Practices And Future Directions. IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology. <https://doi.org/10.9790/2402-1811020822>
- Rillstone, D., & Dineen, C. (2013). Airport Responsibility for Wildlife Management. <https://doi.org/10.17226/22517>
- Washburn, B., & Seamans, T. (2004). MANAGEMENT OF VEGETATION TO REDUCE WILDLIFE HAZARDS AT AIRPORTS. <http://consensus.app/papers/management-of-vegetation-to-reduce-wildlife-hazards-at-washburn-seamans/f51979275f8c5bcebd2e5938d0932bc4/>