

Kajian Mitigasi Dampak Lingkungan Akibat Operasi Bandar Udara dan Pengaruh Lingkungan Terhadap Operasi Bandar Udara Bali Baru

Mitigation Study of Environmental Impact Due to Airport Operations and Environmental Effects on the Operation of Bali Baru Airport

Mahardi Sadono^{1)*}, Mohamad Hasan Bashory²⁾, Javensius Sembiring³⁾, Rully Medianto⁴⁾, Toto Indriyanto⁵⁾, Hari Muhammad⁶⁾

^{1,3,4,5,6)} Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²⁾Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan, Kementerian Perhubungan, Indonesia
mahar65@yahoo.com¹⁾, mohamad_hasan@dephub.go.id²⁾

INFO ARTIKEL

Histori Artikel:

Diterima: 14 April 2021
Direvisi: 22 September 2021
Disetujui: 22 Desember 2021
Dipublikasi online: Desember 2021

Keywords:

mitigation, environment, operation, airport, Bali Baru

Kata kunci:

mitigasi, lingkungan, operasi, bandar udara, Bali Baru

Permalink/DOI:

<https://dx.doi.org/10.25104/wa.v47i2.415.12>

ABSTRACT / ABSTRAK

This paper presents result of study of environmental impact mitigation due to airport operations in Bali province. This study emphasizes more on the qualitative aspects. Environmental impact mitigation studies due to airport operations are carried out by looking at factors such as pollution level (air, water, and sound) and environmental fragmentation due to airport construction and operation. This paper focuses on aspects that correspond to wildlife hazards to airport operation areas, such as bird strikes. The identified threats are then followed up by proposing mitigation actions expected to reduce the impacts on both sides.

Paper ini mempresentasikan hasil studi mitigasi dampak lingkungan akibat operasi bandar udara dan pengaruh lingkungan terhadap operasi Bandara Bali Baru di provinsi Bali. Berdasarkan data yang diperoleh, kajian ini lebih banyak menekankan kepada aspek kualitatifnya. Kajian mitigasi dampak lingkungan akibat operasi bandar udara dilakukan dengan melihat aspek-aspek seperti tingkat pencemaran yang ditimbulkan baik pencemaran udara, suara, dan air serta terjadinya fragmentasi lingkungan di sekitar bandara akibat pembangunan dan pengoperasian bandar udara. Sedangkan dari sisi pengaruh lingkungan terhadap pengoperasian bandar udara, hal yang dikaji meliputi gangguan seperti *bird strike* serta masuknya hewan mamalia ke daerah operasi bandar udara. Identifikasi masalah-masalah yang ditimbulkan ini kemudian ditindaklanjuti dengan memberikan alternatif tindakan mitigasi agar dampak yang ditimbulkan dapat diminimalkan sehingga operasi bandar udara dapat dilakukan dengan aman. Di akhir paper ini, diberikan beberapa saran praktis yang dapat dilakukan baik oleh pihak pengembang maupun pihak operator Bandar Udara Bali Baru ini.

PENDAHULUAN

Pada periode 2010-2019 sebelum terjadinya pandemi COVID-19, lalu lintas pesawat terbang di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai mengalami pertumbuhan rata-rata tahunan sebesar 10% untuk pergerakan penumpang dan 9% untuk pergerakan pesawat udara (Yusuf, 2021). Pada tahun 2019 tercatat bandar udara ini telah menampung pergerakan penumpang sebanyak 24,2 juta penumpang.

Dengan jumlah penumpang yang telah melebihi kapasitasnya yaitu sebesar 24 juta penumpang per tahun akan berdampak kepada berkurangnya kualitas pelayanan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai. Upaya yang kemudian ditempuh oleh Badan Usaha Bandar Udara (BUBU) yang dalam hal ini PT Angkasa Pura I (Persero) tersebut adalah mengembangkan dan membangun fasilitas Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai sehingga mencapai kapasitas ultimate-nya yaitu 37,6 juta penumpang per tahun yang diharapkan selesai pada tahun 2026. Namun demikian, jika memproyeksikan pertumbuhan yang stabil selama beberapa tahun ke depan maka bukan tidak mungkin bahwa kapasitas ultimate tersebut pada akhirnya akan terlampaui.

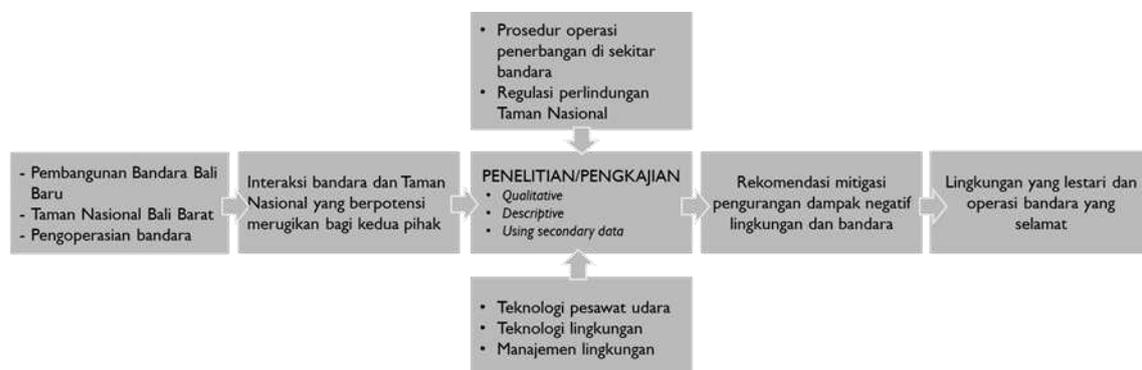
Salah satu alternatif solusi untuk mengantisipasi hal tersebut adalah dengan membangun bandar udara baru di Provinsi Bali dengan harapan dapat membagi lalu lintas angkutan udara dan sekaligus membagi sebaran destinasi pengunjung atau

wisatawan mengingat lokasi yang diusulkan untuk bandar udara baru tersebut berada di wilayah utara Provinsi Bali.

Setelah sebelumnya lokasi yang diusulkan terkendala oleh kebutuhan akan reklamasi yang luas dan tanah adat, bandar udara Bali Baru direncanakan akan dibangun di Sumber Klampok, Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng. Pada lokasi baru tersebut, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara selaku unit kerja teknis telah melakukan assessment terhadap ruang udara yang bersinggungan dengan ruang udara Banyuwangi serta evaluasi lainnya terkait kebandarudaraan.

Terlepas dari faktor-faktor teknis tersebut, terdapat tantangan lain yang juga harus dicari solusinya agar perencanaan pembangunan bandar udara ini dapat berjalan dengan baik, yaitu adanya Taman Nasional Bali Barat (TNBB) yang merupakan habitat dari flora dan fauna yang dilindungi. Taman ini bersebelahan langsung dengan lokasi rencana bandar udara baru. Tantangan tersebut tentunya memunculkan dampak dua arah antara operasi bandar udara terhadap lingkungan sekitarnya dan pengaruh lingkungan di sekitar bandar udara termasuk Taman Nasional Bali Barat terhadap bandara udara yang akan dibangun.

Dampak negatif operasi bandara terhadap lingkungan sekitar misalnya adalah dampak akibat kebisingan. Kebisingan tidak hanya memberikan gangguan terhadap manusia namun juga terhadap binatang berdasarkan beberapa hasil kajian (Shannon, et al., 2015).



Gambar 1. Metodologi kajian mitigasi dampak lingkungan akibat operasi bandar udara dan pengaruh lingkungan terhadap operasi bandar udara Bali Baru di Provinsi Bali

Dampak gangguan tersebut diantaranya katak betina yang kesulitan menemukan katak jantan, hewan predator kesulitan dalam mendeteksi keberadaan hewan buruannya dan kelelawar menjauhi wilayah perburuan yang bisung (Barber, Crooks, & Fristrup, 2009)

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Mengkaji tindakan mitigasi untuk mengurangi dampak lingkungan akibat operasi penerbangan di bandar udara baru di Provinsi Bali yang berupa kebisingan dan emisi udara;; Mengkaji tindakan mitigasi untuk mengurangi potensi gangguan satwa liar terhadap operasi penerbangan di bandar udara baru di Provinsi Bali.

Berdasarkan kedua rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan memberikan saran mitigasi dampak negatif lingkungan akibat operasi penerbangan dan saran mitigasi pengaruh lingkungan terhadap operasi penerbangan di bandar udara baru di Provinsi Bali.

METODOLOGI

TNBB adalah kawasan perlindungan flora dan fauna yang terletak di bagian barat Pulau Bali. Keberadaan Bandar Udara Bali Baru (BUBB) di kawasan TNBB dapat memberi pengaruh bagi kehidupan satwa di TNBB. Beberapa satwa di TNBB adalah satwa yang dilindungi secara nasional maupun internasional sehingga gangguan terhadap

satwa tersebut akan menjadi perhatian baik secara nasional maupun internasional. Di sisi lain, operasi bandar udara harus aman (*safe*). Dengan demikian maka perlu dilakukan kajian untuk mengidentifikasi gangguan-gangguan yang dapat menjadi sumber kecelakaan atau gangguan kelancaran penerbangan.

Interaksi BUBB dengan TNBB secara umum adalah interaksi antara bandar udara dengan lingkungannya. Namun demikian pada kasus yang diteliti, hubungan ini menjadi lebih menarik karena di dalam taman nasional terdapat satwa liar yang dilindungi dan bahkan terdapat beberapa satwa yang dilindungi secara internasional. Dengan demikian, perlu disiapkan langkah-langkah untuk menjaga kelangsungan hidup dan perkembangbiakan satwa liar terutama yang dilindungi.

Penelitian perlu dilakukan untuk mengidentifikasi risiko gangguan baik terhadap satwa liar di TNBB maupun operasi penerbangan di BUBB. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam kajian ini adalah ketentuan tentang prosedur penerbangan di sekitar bandar udara dan regulasi-regulasi terkait taman nasional, perlindungan satwa dan aturan penerbangan. Ketersediaan teknologi kebandarudaraan, pesawat udara, lingkungan, dan best practices manajemen lingkungan menjadi pertimbangan dalam penyusunan mitigasi risiko. Secara umum,

Tabel 1. Jenis data, sumber dan metode pengumpulan data

Jenis Data	Sumber	Metode Pengumpulan Data
Data Taman Nasional Bali Barat	- Tenaga ahli dari LIPI - Publikasi ilmiah - Keputusan Dirjen PHKA	- Diskusi secara daring dengan nara sumber (Tenaga ahli LIPI) - Kajian pustaka
Data Bandar udara Bali Baru	- Publikasi Dirjen Hubud	- Kajian Pustaka
Data Pesawat, kebisingan dan emisinya	- Publikasi ilmiah - Publikasi EASA - Publikasi PT. Angkasa Pura I - Publikasi Kementerian Perhubungan	- Kajian pustaka
Dampak emisi dan kebisingan terhadap flora dan fauna	- Tenaga ahli dari LIPI - Publikasi ilmiah	- Diskusi secara daring dengan nara sumber (Tenaga ahli LIPI) - Kajian pustaka
Data prosedur lalu lintas udara	- Jeppesen Jeppview - Publikasi ilmiah	- Kajian pustaka

alur pikir yang digunakan dalam melakukan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.

Metode Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan dengan metode kualitatif deskriptif dengan menggunakan data sekunder. Metode kualitatif deskriptif dipilih karena bandar udara yang menjadi objek kajian belum dibangun sehingga skenario-skenario yang mungkin akan terjadi dapat diidentifikasi dan dianalisis. Data dikumpulkan dari berbagai literatur dan wawancara langsung dengan peneliti yang pernah melakukan penelitian di TNBB. Permasalahan-permasalahan lingkungan yang mungkin terjadi dianalisis berdasarkan pengalaman-pengalaman di tempat lain. Tabel 1 memperlihatkan data-data yang dibutuhkan dan metode-metode terkait yang digunakan dalam pengumpulan data.

Pengolahan Data

Data-data yang bersifat kualitatif dan kuantitatif yang dikumpulkan di atas kemudian diolah untuk mendapatkan dampak-dampak yang ditimbulkan baik oleh pengoperasian bandar udara terhadap lingkungan maupun akibat lingkungan terhadap operasi bandar udara. Data-data terkait Taman Nasional Bali Barat meliputi jenis-jenis flora dan fauna yang terdapat di taman nasional ini berikut juga jenis-jenis yang dilindungi. Data terkait taman nasional

ini diperoleh berdasarkan diskusi dengan dua orang tenaga ahli dari LIPI. Berdasarkan hasil diskusi diperoleh karakteristik beberapa fauna yang menempati TNBB.

Data bandar udara Bali Baru diperoleh melalui publikasi Dirjen Hubud. Melalui data ini diperoleh lokasi dan juga konfigurasi bandar udara yang akan dibangun di daerah Taman Nasional Bali Baru. Data pesawat, kebisingan dan emisinya dirangkum dari berbagai sumber dan disesuaikan dengan runway yang akan dibangun pada bandar udara baru ini. Data terkait dampak emisi dan kebisingan terhadap flora dan fauna diperoleh melalui diskusi dengan dua tenaga ahli dari LIPI. Data terakhir yang digunakan pada kajian ini adalah data terkait prosedur lalu lintas udara yang diolah dari Aeronautical Information Publication (AIP) Indonesia dan beberapa publikasi ilmiah yang kemudian diadopsi berdasarkan layout bandar udara baru ini.

Analisis Data

Data-data yang diperoleh dibagi dan dianalisis berdasarkan dampak yang ditimbulkan. Data yang pertama terkait dampak yang ditimbulkan oleh pengoperasian bandara terhadap lingkungan sekitarnya terutama di daerah TNBB. Data berikutnya adalah terkait dampak yang

Tabel 2. Level kebisingan beberapa tipe pesawat [2]

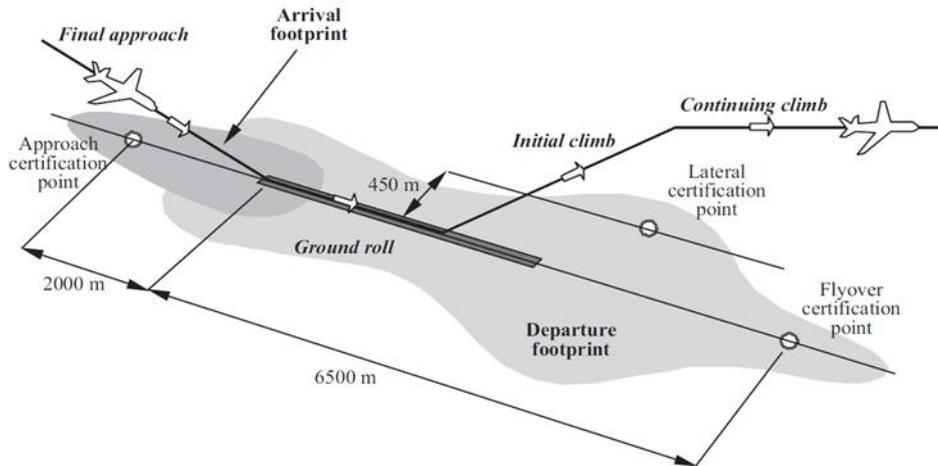
Aircraft Type	MTOW (kg)	Noise Levels (EPNdB*)								
		LATERAL			FLY-OVER			APPROACH		
		LEVEL	LIMIT	MARGIN	LEVEL	LIMIT	MARGIN	LEVEL	LIMIT	MARGIN
A320-200	73.500	94,5	96,8	2,3	84,2	91,5	7,3	96,0	100,5	4,5
A330-343	230.000	97,5	101,0	3,5	90,2	98,0	7,8	97,0	104,3	7,3
B737-800	79.015	94,4	97,0	2,6	86,9	91,9	5,0	96,5	100,7	4,2
B777-300(ER)	340.200	98,9	102,4	3,5	91,9	100,3	8,4	100,5	105,0	4,5
B787-9	247.207	91,3	100,2	8,9	82,0	96,9	14,9	94,6	103,7	9,1
ATR 72-600	22.000	82,5	94,0	11,5	79,8	89,0	9,2	92,2	98,0	5,8
EMB Legacy 600	22.200	85,3	94,0	8,7	80,0	89,0	9,0	91,3	98,0	6,7
Airbus Helicopters EC155B1	4.850	92,2 (TAKE-OFF)	96,9 (TAKE-OFF)	4,7 (TAKE-OFF)	88,9	95,9	7,0	95,7	97,9	2,2

*EPNdB: Effective Perceived Noise level in decibels
 Sumber: EASA (2020)

ditimbulkan oleh lingkungan sekitarnya terhadap pengoperasian bandara.

ukuran desibel (dB).

Pengukuran level kebisingan tersebut didasarkan pada tiga posisi pesawat terbang



Gambar 2. Titik referensi pengukuran level kebisingan pesawat terbang di bandara
Sumber: EASA (2020)

Dampak Pengoperasian Bandar Udara Terhadap Lingkungan Sekitarnya

Dampak pertama yang muncul akibat pengoperasian bandara terhadap lingkungan disekitarnya adalah kebisingan. Kebisingan operasi penerbangan di bandar udara baru seperti halnya di bandar udara lain sebagian besar bersumber dari pergerakan pesawat terbang. Beberapa tipe pesawat terbang jet komersial yang akan beroperasi di Bandar Udara Bali Baru diantaranya Airbus A320, Airbus A330, ATR 72, Boeing B737 NG, Boeing B737 MAX, Boeing B777 dan Boeing B787 Dreamliner. Pesawat terbang yang biasanya digunakan untuk penerbangan charter kemungkinan juga beroperasi di BUBB seperti Embraer Legacy 600 dan Airbus Helicopters EC155B1. Boeing B777 merupakan pesawat terbang terbesar, sehingga potensi kebisingan terbesar dimunculkan oleh jenis pesawat terbang ini.

Analisis level kebisingan didasarkan pada European Air Safety Agency (EASA) Noise Database yang merupakan hasil dari proses sertifikasi kebisingan pesawat udara yang dilakukan oleh EASA (EASA, 2020). Level kebisingan dari beberapa tipe pesawat ditunjukkan pada Tabel 2. Level kebisingan yang ditunjukkan merupakan level kebisingan efektif yang diterima dalam

berdasarkan pada referensi runway threshold yaitu Lateral, Flyover dan Approach. Gambar 2 menunjukkan letak titik-titik referensi pengukuran level kebisingan untuk sertifikasi tersebut.

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pesawat Boeing B777-300 (ER) memiliki level kebisingan paling tinggi dibandingkan dengan tipe pesawat lainnya untuk semua posisi. Nilai ini selanjutnya dipakai untuk memprediksi potensi level kebisingan maksimum yang akan diterima oleh lokasi tertentu di sekitar bandar udara baru terutama di kawasan Taman Nasional Bali Barat (TNBB). Perhitungan menggunakan persamaan yang menerapkan hukum kuadrat terbalik (inverse square law) yang diterapkan untuk titik Lateral dan Flyover seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$L_p(R_2) = L_p(R_1) - 20 \cdot \log(R_2/R_1) \quad (1)$$

Dimana,

$L_p(R_1)$ = Level kebisingan yang diketahui di lokasi pertama (data terukur)

$L_p(R_2)$ = Level kebisingan tidak diketahui di lokasi kedua

R_1 = Jarak dari sumber kebisingan ke lokasi dengan tingkat kebisingan yang diketahui

R_2 = Jarak dari sumber kebisingan ke lokasi kedua

Dampak lain yang dapat muncul akibat pengoperasian bandara adalah dampak pencemaran udara, tanah, dan air terhadap lingkungan sekitar bandara. Untuk mengetahui gambaran umum terkait dampak pengoperasian ini maka data yang akan dianalisis adalah data yang berasal dari bandara-bandara yang telah beroperasi terutama bandara yang termasuk dalam kategori bandara padat. Salah satu data yang diambil adalah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan akibat pengoperasian 5 bandara besar di Indonesia. Emisi gas rumah kaca ini secara khusus menyebabkan peningkatan pemanasan global. Untuk menganalisis emisi gas rumah kaca, digunakan variabel intensitas emisi GRK berdasarkan jumlah pesawat komersial mendarat per tahun. Data ini diperoleh dari Laporan Keberlanjutan 2019, PT Angkasa Pura I (Persero) (PT. Angkasa Pura I (Persero), 2019) dan ditampilkan pada Tabel 3.

Hasil perhitungan di Tabel 3 dapat

dijadikan sebagai pembanding berapa potensi gas rumah kaca yang akan dihasilkan oleh aktivitas di bandar udara baru nantinya, Bandar udara baru akan menghasilkan emisi

Tabel 3. Emisi gas rumah kaca lima bandar udara besar

Bandara	Jumlah Penumpang	Lalu Lintas Pesawat	Emisi GRK* (ton)
Soekarno Hatta	52.588.445	390.648	128.159
Ngurah Rai	23.733.364	155.148	50.253
Juanda	15.806.958	129.542	41.946
Hasanuddin	8.604.391	97.907	31.726
Kualanamu	7.756.018	64.691	20.957

Data diolah dari: Laporan Keberlanjutan 2019 - PT Angkasa Pura I (Persero), Statistik Transportasi Udara 2019 Badan Pusat Statistik dan Statistik Perhubungan 2019 - Kementerian Perhubungan.

gas rumah kaca yang mirip dengan dengan Bandar Udara Internasional Ngurah Rai atau Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya. Bandar udara baru nantinya sejak awal perencanaan dan pembangunannya harus

Tabel 4. Identifikasi potensi penyebab polusi tanah, air di bandar udara (Nunes dkk., 2011)

Asal	Lokasi	Operasi
Limpasan permukaan	Runway, taxiway, apron, jalan penghubung, area perawatan, area parkir kendaraan, hanggar, bengkel dan area perkerasan lainnya.	Pengisian, parkir kendaraan, perawatan pesawat terbang, kendaraan dan peralatan lainnya, mengalir karena air hujan,
Kebocoran dari tempat penyimpanan dan distribusinya	Apron, tempat penimbunan bahan bakar, stasiun pengisian bahan bakar, hanggar dan (Santoso & Firman, 2019) bengkel	Pengisian bahan bakar (sistem hidran, fuel farm dan stasiun bahan bakar) dan penyimpanan bahan kimia lainnya (pestisida, minyak, pelumas, pembersih, pelarut dll.)
Deposisi atmosfer	Area terbuka tanpa perkerasan	Operasi pesawat terbang (penyalan mesin, run-ups, pengujian, manuver darat, take-off dan landing), penanganan kendaraan dan peralatan.
Pelepasan langsung	Area terbuka, area latihan pemadam kebakaran dan fasilitas penyimpanan	Pemotongan rumput, latihan pemadam kebakaran, penyim-panan/pengendapan bahan di area terbuka
Kejadian Kontaminasi lainnya	Substasiun elektrikal, area hijau, hanggar, bengkel, terminal kargo dan fasilitas penyimpanan	Kebocoran selama operasi atau servis substasiun elektrikal, tumpahan pestisida, tumpahan bahan kimia yang digunakan untk pembersihan dan perawatan pesawat terbang, penanganan kendaraan dan peralatan, kebocoran dari kargo.

*EPNdb: Effective Perceived Noise level in decibels
Sumber: EASA (2020)

menerapkan desain yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan teknologi baru yang ramah lingkungan.

Potensi pencemaran tanah dan air yang terjadi di bandar udara berasal dari kegiatan operasi penerbangan, perawatan pesawat terbang, perawatan fasilitas bandar dan aktivitas bandar udara lainnya. Pencemaran ini dapat berupa tumpahan bahan bakar pesawat terbang dan kendaraan bermotor, tumpahan oli, tumpahan bahan kimia dan bahan beracun/berbahaya lainnya. Tabel 4 menunjukkan asal, lokasi dan operasi yang berpotensi menyebabkan polusi terhadap tanah dan air dari bandar udara. "Asal" mengacu pada proses yang mendorong polutan/kontaminan yang dipancarkan dari sumber ke tanah dan air. "Lokasi" mengacu pada tempat di mana polutan dihasilkan/muncul. "Operasi" mengacu pada setiap aktivitas atau fasilitas yang spesifik untuk aktivitas tersebut.

Dampak Satwa Liar Terhadap Operasi Bandar Udara Baru

Dari hasil pengamatan yang dilakukan Santoso dan Firman (Santoso & Firman, 2019) di Jalur Cekik-Ambyasari dan Tegal Bunder-Prapat Agung TNBB dan data tambahan lainnya telah ditemukan lebih dari 40 spesies burung. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan Hazard score spesies dari Paton (Paton, 2010) yang didasarkan

pada berat (*mass score*) burung, karakteristik kawanannya (*flock score*) dan karakteristik terbang (*flight score*). Hasil analisis hazard score untuk tiap spesies burung ditunjukkan pada Gambar 7 di bagian Hasil dan Pembahasan.

Jenis satwa liar lainnya yang memiliki potensi terbesar dapat membahayakan keselamatan operasi bandar udara adalah Monyet Ekor Panjang dan Lutung Budeng. Kedua jenis satwa tersebut memiliki kemampuan untuk memanjat sehingga dapat dengan mudah melewati pagar perimeter apabila tidak diantisipasi. Monyet ekor panjang memiliki daya adaptasi tinggi dan memiliki daerah jelajah cukup luas sekitar 150-1500 m² setiap harinya. Daerah jelajahnya dipengaruhi oleh ketersediaan pakan. Beberapa satwa liar lainnya juga perlu diantisipasi kehadirannya terutama jenis-jenis hewan melata seperti ular yang dapat dengan mudah masuk melalui sela-sela pagar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akibat adanya pembangunan dan pengoperasian Bandar Udara Bali Baru di daerah Taman Nasional Bali Barat maka fragmentasi habitat satwa liar sangat mungkin terjadi. Fragmentasi ini akan berdampak pada terjadinya lonjakan populasi salah satu atau beberapa spesies. Pengurangan spesies juga mungkin terjadi karena terputusnya rantai makanan di daerah



Gambar 3. Terjadinya fragmentasi satwa liar akibat pengoperasian Bandar Udara Bali Baru

tersebut. Pembuatan gorong-gorong yang melewati bandar udara memungkinkan bagi satwa liar berpindah dari satu sisi bandar udara ke sisi bandar udara lainnya tanpa melalui daerah lintasan pesawat udara. Hal ini diharapkan dapat menghindari terjadinya lonjakan populasi disisi tertentu. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi fragmentasi tersebut.

European Air Safety Agency (EASA) *Noise Database* menjadi referensi analisis level kebisingan. *Noise Database* ini merupakan hasil dari proses sertifikasi kebisingan pesawat udara yang dilakukan oleh EASA (EASA, 2020). Prediksi potensi level kebisingan maksimum yang akan diterima oleh lokasi tertentu di kawasan TNBB menggunakan *Level* kebisingan pesawat Boeing B777-300 (ER). Persamaan yang menerapkan hukum kuadrat terbalik (*inverse square law*) digunakan untuk menghitung level kebisingan di titik *Lateral* dan *Flyover*. Gambar 4 menunjukkan lokasi-lokasi di TNBB dan potensi kebisingan maksimum yang akan diterimanya.

Walaupun dari beberapa kajian terdapat variasi besaran kebisingan dan dampaknya, kebisingan dengan besar 40-100 dB (*sound pressure level*) atau lebih besar dipercaya memberikan dampak negatif terhadap kehidupan satwa di daratan (Shannon, dkk., 2015). Dari sumber literatur yang sama, kehidupan satwa perairan juga terdampak

oleh kebisingan, walaupun dengan tingkat toleransi yang lebih tinggi yaitu berkisar di besaran 125 dB.

Pengurangan level kebisingan dapat dilakukan dengan pembangunan pagar penghalang kebisingan (*noise barrier*). Hal ini dapat dilakukan untuk lokasi yang dekat dengan bandar udara seperti di tempat penangkaran Curik Bali. *Noise barrier* bila diterapkan secara efektif dapat meredam kebisingan mencapai 10-15 dBA (Tom Paige, 2014). Beberapa pertimbangan penting yang diperlukan dalam penerapan *noise barrier* adalah kriteria ketinggian Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP). Beberapa faktor juga harus diperhatikan seperti pemilihan material yang memperhitungkan keawetan material (*durability*), ketahanan terhadap cuaca, tidak mengandung bahan yang berbahaya, dan beracun serta tidak mudah terbakar (NSW Government, 2015).

Pengembangan prosedur operasi bandar udara berupa pemilihan arah runway merupakan upaya lain yang dilakukan untuk mengurangi level kebisingan maksimum. Tabel 5 merupakan hasil simulasi perhitungan level kebisingan untuk fase take-off dan approach untuk operasi dan runway yang berbeda. Take-off menggunakan Runway 25 akan mengurangi kebisingan di lokasi pelepasliaran Curik Bali yang ada di



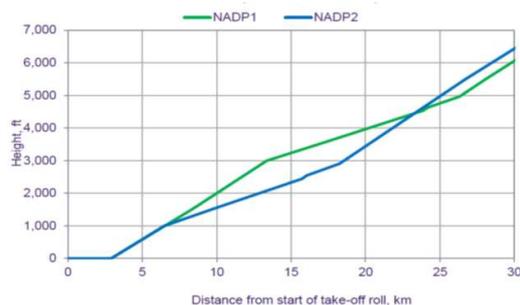
Gambar 4. Potensi level kebisingan maksimum pada beberapa lokasi di TNBB

Teluk Kotal dan Teluk Brumbun. Kedatangan menggunakan Runway 07 akan mengurangi potensi kebisingan di kedua lokasi tersebut.

Tabel 5. Tingkat kebisingan berdasarkan pemilihan arah runway

Arah Runway	Runway 07		Runway 25	
	Fase Take-off	Approach	Take-off	Approach
Penangkaran Jalak Bali	84,09	73,84	89,57	68,28
Teluk Kotal	76,28	64,94	67,18	74,12
Teluk Brumbun	69,61	63,65	66,32	66,52

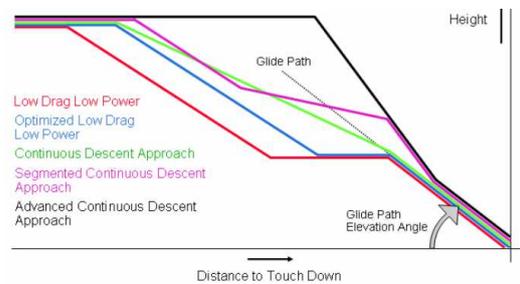
Penggunaan prosedur pengurangan kebisingan saat keberangkatan dan kedatangan juga dapat mengurangi level kebisingan hingga 2-9 dB (ICAO, 2010). Contoh penerapan Noise Abatement Departure Procedure (NADP) adalah NADP 1 dan 2 dengan profil terbang seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Profil terbang NADP1 dan NADP 2 (Glen, 2016)

Ada sejumlah tindakan mitigasi berupa prosedur pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengurangi kebisingan, yaitu: *Continuous Decent Approaches* (CDA), *Slightly*

Steeper Approaches (SSA), *Segmented Continuous Decent Approaches* dan *Low Drag / Low Power Procedures* (The Aircraft Noise Competent Authority (ANCA), 2020). Ilustrasi profil terbang masing-masing prosedur tersebut ditampilkan di Gambar 6.



Gambar 6. Profil terbang vertikal dari beberapa prosedur pendekatan untuk mengurangi kebisingan (Schubert dkk., 2005)

Untuk analisis kualitas udara dilakukan *benchmarking* terhadap tiga bandar udara yang dikelola oleh PT. Angkasa Pura I (Persero). Kualitas udara didasarkan pada kandungan polutan gas Sulphur dioxide (SO₂), Nitrogen dioxide (NO₂), Carbon monoxide (CO) dan kandungan debu (TSP). Hasil pengukuran kualitas udara pada tahun 2019 ditunjukkan pada Tabel 6.

Dari hasil *benchmarking* dengan ketiga bandar udara tersebut, kualitas udara di Bandar udara Bali Baru diprediksi akan mirip dengan kualitas udara di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai, Denpasar karena diproyeksikan jumlah pergerakan pesawat dan penumpangnya akan mirip. Agar fasilitas bandar udara baru nantinya lebih sedikit menghasilkan gas-gas polutan yang berbahaya bagi kesehatan lingkungan sekitar

Tabel 6. Kualitas udara tiga bandar udara

Polutan	Bandar udara Ngurah Rai (DPS)	Bandar udara Sam Ratulangi (MDC)	Bandar udara Pattimura (AMQ)	Ambang Batas	Metode Pengukuran
Sulphur dioxide (SO ₂)	58,09 µg/Nm ³	256,6 µg/Nm ³	62,9 µg/Nm ³	900 µg/Nm ³	SNI 7119.7-2017
Nitrogen dioxide (NO ₂)	15,45 µg/Nm ³	35,2 µg/Nm ³	41,08 µg/Nm ³	400 µg/Nm ³	SNI 7119.2-2017
Carbon monoxide (CO)	2527 µg/Nm ³	3327,4 µg/Nm ³	22000 µg/Nm ³	30000 µg/Nm ³	SNI 7119.10-2017
Debu (TSP)	15,49 µg/Nm ³	52,7 µg/Nm ³	6,56 µg/Nm ³	90 µg/Nm ³	SNI 7119.3-2017

Sumber: Laporan Keberlanjutan 2019, PT Angkasa Pura I (Persero)

maka perlu direncanakan dengan matang penerapan teknologi baru yang lebih ramah lingkungan dari awal perancangan dan pembangunannya.

Gas rumah kaca sebagai akibat operasi bandar udara dan menjadi penyebab meningkatnya pemanasan global juga perlu untuk dikurangi. Gas rumah kaca yang dianalisis terdiri dari karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC), dan sulfur heksafluorida (SF₆). Dari Laporan Keberlanjutan 2019 yang diterbitkan oleh PT Angkasa Pura I (Persero) didapatkan hasil perhitungan gas rumah kaca untuk lima bandar udara yang ditampilkan di Tabel 7. Analisis tersebut menggunakan variabel intensitas emisi GRK berdasarkan jumlah pesawat komersial mendarat per tahun.

Hasil perhitungan di Tabel 7 dapat dijadikan sebagai *benchmarking* berapa potensi gas rumah kaca yang dapat dihasilkan oleh aktivitas di bandar udara baru. Bandar udara baru akan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang mirip dengan Bandar Udara Internasional Ngurah Rai atau Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya. Bandar udara baru sejak awal perencanaan dan pembangunannya harus menerapkan desain yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan teknologi-teknologi baru.

Beberapa strategi yang dapat diambil adalah melalui penggunaan energi baru dan terbaharukan sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar hidrokarbon.

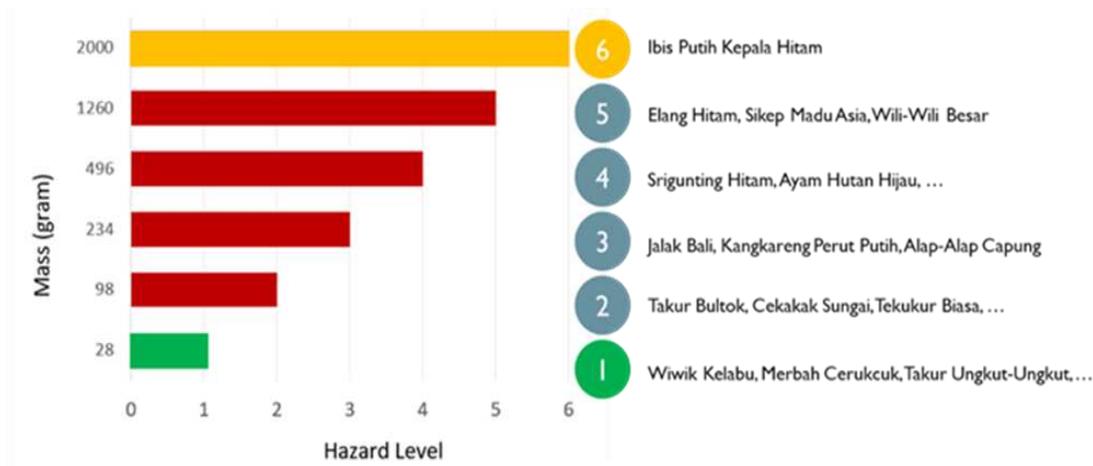
Tabel 7. Emisi gas rumah kaca lima bandar udara besar

Bandar udara	Jumlah Penumpang	Lalu Lintas Pesawat	Emisi GRK* (ton)
Soekarno - Hatta	52.588.445	390.648	128.159
Ngurah Rai	23.733.364	155.148	50.253
Juanda	15.806.958	129.542	41.946
Hasanuddin	8.604.391	97.907	31.726
Kualanamu	7.756.018	64.691	20.957

Data diolah dari: Laporan Keberlanjutan 2019 - PT Angkasa Pura I (Persero), Statistik Transportasi Udara 2019 - Badan Pusat Statistik, dan Statistik Perhubungan 2019 - Kementerian Perhubungan

Penggunaan *ground support equipment* (GSE) bertenaga listrik, tenaga surya untuk lampu penerangan *apron*, lampu *taxiway* dan lampu *runway* akan mengurangi konsumsi bahan bakar hidrokarbon. Penggunaan cahaya natural di dalam gedung dan ventilasi yang lebih banyak juga dapat mengurangi penggunaan mesin penyejuk ruangan sehingga pemanfaatan gas-gas yang dapat merusak ozon dapat dikurangi.

Kegiatan operasi penerbangan, perawatan pesawat terbang, perawatan fasilitas bandar dan aktivitas bandar udara lainnya juga dapat memunculkan potensi pencemaran tanah dan air. Pencemaran berupa tumpahan bahan bakar pesawat terbang dan kendaraan bermotor, tumpahan oli, tumpahan bahan kimia dan bahan beracun/berbahaya lainnya. Pengelola bandar udara berkewajiban untuk mengendalikan pencemaran tanah dan air



Gambar 7. Hazard score spesies burung di TNBB

melalui kegiatan monitoring, evaluasi risiko dan penerapan tindakan mitigasi. Beberapa tindakan mitigasi yang dilakukan di antaranya adalah penyediaan lokasi khusus untuk penimbunan dan pembuangan bahan beracun/berbahaya, pelaporan kejadian yang berpotensi mencemari tanah dan air, penyusunan *Environment Management System* dan *Construction Environment Management Plan* serta penyusunan prosedur pembersihan tumpahan (Nunes dkk., 2011) n.

Terdapat dua potensi gangguan satwa liar (*wildlife strike*) terhadap operasi Bandar Udara Bali Baru berupa gangguan terkait bahaya akibat masuknya mamalia ke daerah pergerakan pesawat dan *bird strike* yang diakibatkan oleh pergerakan burung di udara. Hewan mamalia yang memerlukan perhatian khusus adalah monyet ekor panjang karena jangkauan jelajahnya cukup luas dan lebih lincah dibanding hewan-hewan mamalia lainnya. Walaupun sebaran habitat monyet ekor panjang ini tidak bersinggungan langsung dengan kawasan operasi Bandar udara Bali Baru namun kemungkinan hewan ini memasuki daerah lintasan pesawat tetap perlu diwaspadai. Salah satu upaya yang perlu dilakukan adalah penempatan pagar listrik bertegangan rendah. Penempatan pagar

disekeliling bandar udara wajib dilakukan untuk membatasi pergerakan hewan mamalia lainnya seperti rusa timor, kijang, dan babi celeng.

Potensi *bird strike* di TNBB cukup tinggi karena merupakan habitat berbagai jenis spesies burung dan juga merupakan daerah singgah/lintasan burung migran (Ibis Putih Kepala Hitam, Sikep Madu Asia dan beberapa jenis raptor lainnya). Terdapat lebih dari 100 spesies burung yang berhasil terdata di TNBB. Berdasarkan *Bird Hazard Scoring System*, tidak semua burung yang terdata di TNBB berbahaya bagi pesawat udara (Paton, 2010). Spesies burung yang ada TNBB dapat dikelompokkan menjadi enam kategori berdasarkan tingkat risikonya bagi pesawat terbang mulai dari *hazard level* yang rendah sampai dengan yang tertinggi (berbahaya bagi pesawat udara). Pembagian spesies burung yang terdata pada TNBB berdasarkan kategori *hazard level*-nya dapat dilihat pada Gambar 7.

Terdapat beberapa upaya yang umum dilakukan untuk menghindari terjadinya pergerakan burung ke daerah operasi pesawat udara seperti pemotongan rumput yang tidak terlalu pendek dan dilakukan pada



Gambar 8. Rute migrasi tahunan Sikep Madu Asia yang melintasi TNB

malam hari untuk agar tidak menarik perhatian burung pemakan serangga. Pada prinsipnya bandar udara diusahakan untuk tidak menyediakan tempat pencarian makanan burung. Pihak bandar udara secara berkala harus melakukan inspeksi daerah-daerah yang rentan dimanfaatkan burung sebagai tempat bersarang. penempatan kamera pengawas (CCTV) di daerah sekitar bandar udara selain untuk menjaga keamanan juga dapat digunakan untuk memonitor pergerakan burung dan satwa liar lainnya.

Secara aktif pihak bandar udara juga harus mempersiapkan personel yang bertugas untuk mengusir burung ataupun kawanan burung yang memasuki wilayah bandar udara. Pengusiran tersebut biasanya dibantu dengan beberapa perangkat misalnya alat akustik pengusir burung dan drone dengan bentuk burung pemangsa.

Wilayah TNBB merupakan salah satu wilayah perlintasan migrasi burung yang terjadi setiap tahunnya. Berdasarkan data pada tahun 2003, *raptor* migran tercatat

masuk dari arah Barat Daya, Barat, dan Barat Laut memasuki Cekik, dan Tegal Bunder. Kemudian kawanan raptor tersebut terlihat meninggalkan TNBB menuju arah timur dari titik pengamatan Teluk Trima. Raptor migran yang terlihat pernah melintasi TNBB yaitu: *Accipitersoloensis*, *Accipiter gularis*, *Accipiter sp*, *Pernis ptylorhyncus* dan *Buteo buteo* (Imansyah, Sudaryanto, 2008). Burung Sikep Madu Asia (*Pernis ptylorhyncus*) merupakan spesies raptor migran terbanyak yang diperkirakan mencapai 10.000 individu (Purwanto, 2020). Gambar 8 menunjukkan rute Sikep Madu Asia yang melintasi Bali khususnya kawasan TNBB.

Agar potensi *hazard* dari kawanan raptor migran ini dapat diketahui maka perlu dilakukan observasi yang lebih intens terhadap perilakunya selama melintasi TNBB. Perilaku yang perlu diamati adalah bagaimana lintasan terbangnya, jenis makanan, berapakah ketinggian terbangnya saat melintasi TNBB, apakah singgah di areal TNBB dan apa saja yang dilakukan selama

Tabel 8. Mitigasi dampak gangguan operasi bandar udara terhadap satwa liar dan sarannya.

Gangguan/Dampak			Mitigasi	Saran
Potensi	Tingkat	Lokasi		
Fragmentasi	Sedang	Di sekitar bandar udara	Penyediaan terowongan di bawah runway dan penyediaan under pass di bawah bandar udara	Berdasarkan data yang ada saat ini, diperlukan pengamatan yang lebih lanjut.
Kebisingan umum	Sedang	Di sekitar bandar udara	<ul style="list-style-type: none"> • Penempatan <i>sound barrier</i> • Penetapan prosedur terbang dengan meminimalisir kebisingan 	<i>Noise monitoring</i> Aturan terkait profil dan lintas terbang pesawat terbang (contoh <i>missed approach</i>)
Kebisingan terhadap Burung Curik Bali	Tinggi	Penangkaran Curik Bali	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan <i>sound barrier</i> • Relokasi fasilitas penangkaran 	Perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mendalami dampak kebisingan terhadap satwa di penangkaran dan kawasan pelepasliaran.
	Sedang	Kawasan pelepasliaran Curik Bali	Pemilihan arah <i>runway - take off</i> 25 (bila memungkinkan, <i>no wind condition</i>)	
Pencemaran udara	Rendah	Di sekitar bandar udara	<ul style="list-style-type: none"> • Penerapan prosedur <i>fuel conservation</i> • Penggunaan GSE tenaga listrik • Pemasangan lampu bertenaga surya (<i>apron flood light, runway light, taxiway light</i> dll.) 	Perlu penelitian lebih lanjut untuk penerapan mitigasi yang paling tepat sesuai dengan karakteristik bandar udara.
Pencemaran tanah dan air	Rendah	Di sekitar bandar udara	Pembuatan fasilitas <i>water treatment</i>	Perlu kajian untuk pemetaan risiko pencemaran tanah dan air.

singhah. Hasil pengamatan tersebut digunakan untuk perencanaan mitigasi risiko

- Kebisingan terutama pada fasilitas penangkaran Curik Bali yang berada di

Tabel 9. Mitigasi dampak dari gangguan satwa liar terhadap operasi bandar udara dan sarannya.

Gangguan/Dampak			Mitigasi	Saran
Potensi	Tingkat	Lokasi		
Bird strike (gangguan burung)	Sedang	Take-off & landing area	<ul style="list-style-type: none"> • Bandar udara baru tidak menyediakan tempat pencarian makanan burung. • Pemotongan rumput tidak terlalu pendek. • Penerbitan NOTAM pada musim-musim tertentu terutama pada saat terjadinya migran. • Ditempatkan pengamat (CCTV) di daerah sekitar bandar udara • Menghindari bandar udara atau daerah bandar udara menjadi sarang burung atau satwa liar 	Perlu dilakukan pengamatan lebih lanjut terkait pergerakan burung migran (Ibis Putih Kepala Hitam dan Sikep Madu Asia)
	Sedang	Aircraft Movement Area (AMA)	<ul style="list-style-type: none"> • Pengusir burung dengan mobil patrol atau hewan (anjing) 	Perlu dilakukan kajian untuk menentukan cara pengusiran yang lebih efektif.
Mamalia (kaki 4)	Rendah	Runway dan AMA	Pagar sisi udara	Perlu kajian yang lebih mendalam untuk pemetaan risiko yang lebih detail.
Mamalia (monyet)	Rendah	Runway dan AMA	Pagar sisi udara (dialiri listrik tegangan rendah)	

bird strike. Selain raptor migran, perlu diperhatikan keberadaan kawanan burung air migran seperti Ibis Putih Kepala Hitam dari Australia yang juga terlihat hadir di wilayah pesisir/teluk sekitar Bandar Udara Bali Baru.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap data-data yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Dampak operasi bandar udara terhadap satwa liar di TNBB masih mungkin dikurangi, demikian juga sebaliknya.
- Risiko gangguan operasi bandar udara terhadap satwa liar yang teridentifikasi melalui kajian telah dipaparkan di awal kajian ini namun yang perlu mendapat perhatian adalah:
 - Fragmentasi kawasan TNBB menjadi bagian Barat Laut dan Tenggara dengan bandar udara sebagai pemisahannya.

sekitar bandar udara.

- Risiko gangguan satwa liar terhadap operasi bandar udara yang teridentifikasi melalui kajian telah dipaparkan di awal kajian ini namun yang perlu mendapat perhatian adalah bird strikes terutama oleh burung-burung migran (Ibis Putih Kepala Hitam, Sikep Madu Asia)

Karena adanya keterbatasan waktu dan akses, penelitian ini belum mampu untuk memetakan secara detail setiap risiko yang harus diantisipasi di sisi lingkungan hidup sekitar bandara udara maupun keselamatan operasi penerbangan. Penelitian lanjutan masih diperlukan.

SARAN

Penelitian ini memberikan saran berupa mitigasi dampak dalam rangka mengurangi dampak lingkungan terhadap operasi bandar udara maupun dampak operasi bandar udara terhadap lingkungan di sekitarnya, terutama

TNBB. Saran berupa mitigasi dampak ini ditampilkan pada Tabel 8 dan 9.

Fakta-fakta dan data-data yang dipaparkan pada penelitian ini masih perlu untuk digali lebih dalam sehingga mitigasi yang direncanakan lebih akurat dan efektif. Durasi waktu pengamatan yang lebih lama dengan didukung oleh sampel yang lebih bervariasi akan lebih meningkatkan mutu dari luaran penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Perhubungan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial dan data-data yang dibutuhkan selama melakukan kajian ini. Secara khusus, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada nara sumber dari LIPI yang telah memberikan pencerahan terkait gambaran umum flora dan fauna di Taman Nasional Bali Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aircraft Noise Competent Authority (ANCA). (2020). *Aircraft Noise Mitigation at Dublin Airport: Overview of Current Systems and Practices*.
- Barber, J. R., Crooks, K. R., & Fristrup, K. M. (2009). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(3).
- EASA. (2020). *EASA certification noise levels*. Retrieved 11 20, 2020, from European Union Aviation Safety Agency (EASA): <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/easa-certification-noise-levels>
- Ekkehart Schubert, O. L. (2005). Evaluation the influence of noise abatement procedures to pilot's workload and safety by using an Airbus A330/340 Full Flight Simulator. *The 2005 and Exposition on Noise Control Engineering*. Rio de Janeiro, Brazil.
- Government, N. (2015). *Noise wall design guideline*. Transport Roads and Maritime Services.
- ICAO. (2010). Doc 9888 Noise Abatement Procedures: Review of Research, Development and Implementation Projects Discussion of Survey Results.
- L. M. Nunes, Y.-G. Z. (2011). Impacts On Soil And Groundwater At Airports: Origin, Contaminants Of Concern And Environmental Risks. *Journal of Environmental Monitoring*, 11.
- M Jeri Imansyah, O. P. (2008). *Jalur Migrasi raptor Migran Asia Di Bali*. Retrieved 12 13, 2020, from <https://ekologi.wordpress.com/2008/04/03/jalur-migrasi-raptor-migran-di-bali>
- Paton, D. C. (2010). *Bird Risk Assessment Model*. The Univeristy Adelaide.
- PT. Angkasa Pura I (Persero). (2019). *Laporan Keberlanjutan 2019*. Jakarta: PT. Angkasa Pura I (Persero).
- Purwanto, A. A. (2020). *Migrasi Raptor di Indonesia-Informasi Terkini dan Upaya Konservasinya di Indonesia*.
- Santoso, & Firman, R. (2019). Keanekaragaman dan Status Konservasi di Jalur Cekik-Ambyasari dan Tegal Bunder-Prapat Agung Taman Nasional Bali Barat. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek*. Surakarta.
- Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., Wittemyer, G. (2015). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlif. *Biological Reviews*.
- The Aircraft Noise Competent Authority (ANCA). (2020). *Aircraft Noise Mitigation at Dublin Airport: Overview of Current Systems and Practices*.
- Tom Paige, P. (2014). *Kinetics Noise Control, Inc., Mississauga, Ontario, Outdoor Noise Barriers: Design and Applications*. Retrieved from https://www.enoisecontrol.com/wp-content/uploads/2014/12/outdoor_noise_barrier_wall.pdf
- Yusuf, N. F. (2021, Desember 2021). *Bandara Ngurah Rai Layani 175 Juta Penumpang*. Retrieved from Antara News: <https://bali.antaranews.com/berita/174756/2010-2019-bandara-ngurah-rai-layani-175-juta-penumpang>