

---

---

## **ANALISIS PROSEDUR TANGGAP DARURAT TERHADAP DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP KONDISI ADAPTASI BANDAR UDARA: TINJAUAN LITERATUR**

**Joni Hermawan**

Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja  
Program Diploma IV, Universitas Balikpapan, Jl. Pupuk Raya,  
Gn. Bahagia Balikpapan 76114 Telp. (0542) 764205  
Email: jhonihermawan7@gmail.com

### **ABSTRAK**

Perubahan iklim membawa tantangan besar bagi kelancaran operasional bandar udara seiring dengan meningkatnya kejadian cuaca ekstrem seperti banjir bandang, gelombang panas, dan kabut asap. Prosedur tanggap darurat (Emergency Response Plan/ERP) yang selama ini dirancang hanya mengandalkan pola kejadian masa lalu dinilai tidak lagi cukup tangguh untuk menghadapi ancaman iklim yang kini semakin kompleks dan sulit diprediksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana dampak iklim telah diintegrasikan ke dalam protokol darurat bandara serta menilai kesiapan infrastruktur dan kelembagaannya. Menggunakan metode tinjauan literatur sistematis berkerangka PRISMA, studi ini menelaah 68 dokumen terpilih dari 312 literatur yang bersumber dari basis data akademik terkemuka dan laporan lembaga penerbangan internasional pada periode 2015–2025. Berdasarkan analisis ditemukan empat isu utama, yakni rentannya fisik dan operasi bandara terhadap anomali cuaca, keterbatasan sistem ERP yang ada saat ini, kebutuhan akan kerangka manajemen krisis yang adaptif, serta berbagai hambatan di lapangan yang meliputi masalah regulasi, pendanaan, kapasitas sumber daya manusia, dan minimnya data cuaca beresolusi tinggi. Kajian ini juga menyoroti adanya pergeseran cara pandang dalam literatur, dari penanganan darurat yang sekadar reaktif menjadi tata kelola kedaruratan yang proaktif, berfokus pada peringatan dini, dan tangguh terhadap perubahan iklim. Pada akhirnya, studi ini menyimpulkan bahwa prosedur darurat bandara wajib diperbarui secara rutin dengan berpijak pada proyeksi iklim masa depan. Sebagai tindak lanjut, direkomendasikan perlunya penyusunan pedoman teknis berskala nasional, pemanfaatan teknologi digital untuk simulasi bencana, serta penyediaan skema pendanaan adaptasi yang pencairannya diikat langsung dengan pencapaian indikator kesiapsiagaan bandara.

**Kata Kunci:** Perubahan Iklim, Bandar Udara, Prosedur Tanggap Darurat, Ketahanan Infrastruktur, Adaptasi Penerbangan, Tinjauan Literatur Sistematis.

---

---

## ABSTRACT

*Climate change presents significant challenges to the smooth operation of airports due to the increasing occurrence of extreme weather events such as flash floods, heat waves, and haze. Emergency Response Plans (ERP), which have so far been designed based only on past event patterns, are considered no longer robust enough to face the increasingly complex and unpredictable climate threats. Therefore, this study aims to evaluate the extent to which climate impacts have been integrated into airport emergency protocols and to assess the readiness of its infrastructure and institutions. Using a systematic literature review method framed by PRISMA, this study examined 68 selected documents from 312 literatures sourced from leading academic databases and reports from international aviation agencies for the period 2015–2025. Based on the analysis, four main issues were identified, namely the vulnerability of airport physical infrastructure and operations to weather anomalies, limitations of the current ERP system, the need for an adaptive crisis management framework, and various field obstacles including regulatory issues, funding, human resource capacity, and the lack of high-resolution weather data. This study also highlights a shift in perspective in the literature, from merely reactive emergency response to proactive emergency governance, focusing on early warning and resilience to climate change. Ultimately, the study concludes that airport emergency procedures must be regularly updated based on future climate projections. As a follow-up, it is recommended to develop national-scale technical guidelines, utilize digital technology for disaster simulations, and provide an adaptation funding scheme whose disbursement is directly linked to the achievement of indicators. achievement of airport preparedness indicators.*

**Keywords:** *Climate Change, Airport, Emergency Response Procedures, Infrastructure Resilience, Aviation Adaptation, Systematic Literature Review.*

---

## PENDAHULUAN

Bandar udara merupakan infrastruktur strategis yang berfungsi Sebagai pusat penggerak ekonomi regional, logistik global, dan simpul mobilitas manusia, bandar udara memegang peranan yang sangat vital. (Campos, 2023)

Sayangnya, karena kelancaran operasinya amat bergantung pada kondisi cuaca, kestabilan infrastruktur darat, serta rantai pasok, bandara menjadi salah satu fasilitas transportasi yang paling rentan terdampak oleh guncangan iklim. (Sari, 2025)

Laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2022 mempertegas hal ini. Mereka mencatat bahwa gangguan penerbangan di seluruh dunia semakin sering terjadi akibat tren kenaikan suhu bumi, curah hujan ekstrem yang tak

menentu, naiknya permukaan air laut, hingga badai tropis yang makin intens. (Z et al., 2025)

Kondisi ini sejalan dengan temuan *Airports Council International* (ACI) pada 2023, yang melaporkan bahwa lebih dari 68% bandara internasional terpaksa menunda atau membatalkan penerbangan secara massal akibat cuaca buruk dalam lima tahun terakhir. Dampaknya pun tidak main-main, dengan kerugian finansial ditaksir mencapai miliaran dolar AS setiap tahunnya.

Ironisnya, di tengah ancaman yang terus berkembang ini, prosedur Rencana Tanggap Darurat (ERP) di mayoritas bandara justru masih terjebak pada cara-cara lama. Sistem yang berjalan saat ini umumnya masih bersifat reaktif, hanya berkaca pada data historis, dan pelaksanaannya sering kali terkotak-kotak antar lembaga. Memang benar bahwa standar internasional seperti ICAO

Doc 9137-AN/898 Part 7 beserta aturan otoritas penerbangan lokal telah merumuskan unsur-unsur dasar ERP, mulai dari sistem komando, tata cara evakuasi, hingga alur komunikasi dengan tim medis dan pemadam kebakaran. (Pramono, 2013) Akan tetapi, berbagai kajian terbaru mengungkapkan sebuah celah besar: pedoman darurat tersebut nyaris tidak pernah memasukkan prediksi risiko iklim di masa depan, skenario bencana beruntun (*compound events*), maupun langkah penyesuaian infrastruktur untuk jangka menengah. Imbasnya, penanganan krisis di lapangan sering kali terlambat dan kurang terpadu, sehingga gagal membendung efek domino yang mengancam keselamatan penumpang, merusak aset, dan mengacaukan siklus logistik penerbangan. (Voskaki et al., 2023).

Ketimpangan antara ancaman iklim yang makin eskalatif dan lambatnya pembaruan prosedur darurat ini memunculkan sejumlah pertanyaan penelitian yang mendesak: (1) Bagaimana literatur terbaru memetakan imbas perubahan iklim terhadap rentannya fisik bangunan dan operasi bandara? (2) Sejauh mana pedoman darurat konvensional telah dibenahi agar mampu merespons risiko iklim saat ini? (3) Kerangka kerja, perangkat, atau praktik terbaik seperti apa yang bisa diterapkan untuk mengintegrasikan adaptasi iklim ke dalam penanganan krisis di bandara? serta (4) Apa saja kendala baik dari sisi regulasi, teknis, maupun institusional yang menghambat penerapan pedoman darurat yang tangguh iklim?

Oleh karena itu, tinjauan literatur ini disusun guna menjawab deretan pertanyaan tersebut melalui analisis yang kritis terhadap berbagai publikasi ilmiah, laporan kebijakan, dan panduan teknis internasional. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata berupa pemetaan konsep mengintegrasikan ilmu manajemen bencana, rekayasa infrastruktur, dan tata kelola penerbangan. Lebih dari itu, tulisan ini juga dirancang untuk menjadi rujukan komprehensif bagi pembuat kebijakan, operator bandara, maupun akademisi dalam menyusun prosedur

kedaruratan yang adaptif, berbasis data yang kuat, dan siap menghadapi tantangan di masa depan. Adapun sistematika penulisan artikel ini mencakup penjabaran metode penelusuran, diskusi tematik hasil temuan, kesimpulan, serta rekomendasi untuk langkah kebijakan dan penelitian lanjutan. (Ulfa, 2022)

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **tinjauan literatur sistematis** (*systematic literature review*) yang mengikuti panduan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) versi 2020. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan transparansi, reproduktibilitas, dan minimasi bias dalam seleksi serta sintesis sumber akademik.

### 1. Strategi Pencarian dan Sumber Data

Pencarian dilakukan pada empat pangkalan data utama: Scopus, Web of Science, Google Scholar, dan repositori institusi internasional (ICAO, ACI World, IPCC, World Bank, EUROCONTROL, UNDRR). String pencarian menggunakan operator Boolean: ("airport" OR "aerodrome" OR "aviation infrastructure") AND ("emergency response" OR "emergency planning" OR "disaster preparedness") AND ("climate change" OR "extreme weather" OR "climate adaptation" OR "resilience"). Pencarian dibatasi pada publikasi terbitan Januari 2015 hingga Desember 2025, dalam bahasa Indonesia dan Inggris, serta mencakup artikel peer-reviewed, laporan teknis resmi, panduan kebijakan, dan studi kasus terverifikasi.

### 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

#### Inklusi:

1. Membahas bandar udara/infrastruktur penerbangan secara eksplisit.
2. Mengaitkan perubahan iklim/cuaca ekstrem dengan prosedur tanggap darurat, kesiapsiagaan, atau adaptasi infrastruktur.
3. Memuat evaluasi kerangka, kebijakan, atau praktik operasional.

4. Tersedia dalam teks lengkap dan telah melalui proses validasi akademik atau institusional.

#### **Eksklusi:**

1. Studi yang hanya fokus pada mitigasi emisi GRK bandara tanpa kaitan dengan kesiapsiagaan darurat.
2. Literatur yang membahas bandara secara umum tanpa analisis prosedur darurat atau adaptasi.
3. Publikasi non-ilmiah, blog, atau materi promosi komersial.

### **3. Proses Seleksi dan Penilaian Kualitas**

Proses seleksi dilakukan dalam tiga tahap: (1) identifikasi berdasarkan judul dan abstrak, (2) penyaringan berdasarkan kriteria inklusi/eksklusi, (3) penilaian kualitas menggunakan *adapted CASP checklist* untuk studi tinjauan dan kebijakan. Dokumen dinilai berdasarkan kejelasan metodologi, relevansi konteks bandara, kedalaman analisis adaptasi-darurat, serta kontribusi praktis. Dari 312 dokumen awal, 68 dokumen memenuhi kriteria dan diekstraksi datanya.

### **4. Analisis dan Sintesis Data**

Seluruh data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan teknik sintesis tematik naratif. Dalam praktiknya, proses analisis ini diawali dengan merumuskan kode-kode secara induktif yang digali langsung dari abstrak serta temuan penting masing-masing dokumen. Berbagai kode tersebut selanjutnya diseleksi dan dikelompokkan secara berulang (iteratif) hingga menyusut menjadi beberapa tema utama yang solid.

Untuk memastikan keakuratan dan keabsahan temuan, studi ini menerapkan langkah triangulasi silang. Peneliti membandingkan secara kritis informasi yang bersumber dari artikel jurnal akademik dengan data dari laporan resmi lembaga internasional. Langkah validasi ini juga dibarengi dengan pencatatan yang cermat terhadap latar belakang geografis serta tingkat penerapan kebijakan di tiap lokasi kajian.

Walau begitu, kerangka metode dalam penelitian ini tidak terlepas dari sejumlah

catatan keterbatasan. Tantangan yang paling menonjol adalah adanya kemungkinan bias publikasi, mengingat mayoritas literatur yang tersedia saat ini masih didominasi oleh hasil riset dari negara-negara maju (*Global North*). Selain itu, belum adanya standar yang seragam mengenai definisi "ketahanan iklim" di lapangan juga menjadi kendala tersendiri. Terakhir, analisis dalam studi ini cukup dibatasi oleh minimnya akses terhadap dokumen pedoman darurat (ERP) spesifik milik bandara, mengingat dokumen teknis operasional semacam itu umumnya bersifat rahasia dan tertutup untuk publik.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Kerangka Teoretis: Kerentanan, Kapasitas Adaptif, dan Ketahanan Bandara**

Kajian literatur ini berpijak pada tiga pilar teori utama untuk membedah sejauh mana bandara siap menghadapi krisis iklim:

#### **1. Teori Kerentanan Infrastruktur**

Konsep ini memandang kerentanan sebagai hasil akumulasi dari paparan fisik, tingkat kepekaan operasi, dan minimnya daya adaptasi. Sebagai contoh, bandara yang berlokasi di pesisir atau wilayah tropis dataran rendah umumnya mencatatkan skor kerentanan yang tinggi karena tingginya paparan cuaca ekstrem yang diperparah oleh keterbatasan sistem drainase. (Armas et al., 2026)

#### **2. Kerangka Ketahanan Sistem**

Ketahanan di sini melampaui sekadar kekuatan fisik bangunan. Fokusnya terletak pada daya lenting sistem operasional dalam meredam kejutan, beradaptasi dengan cepat, dan memulihkan fungsi-fungsi vital. Dalam konteks ini, Rencana Tanggap Darurat (ERP) merupakan nyawa dari ketangguhan operasional yang harus terus bergerak dinamis. (Thoma et al., 2016)

#### **3. Kapasitas Adaptif Penerbangan**

Kemampuan ini mencakup kesiapan dari berbagai lini, mulai dari fleksibilitas teknis infrastruktur, sinergi antarinstansi, ketersediaan dana cadangan khusus iklim, hingga literasi sumber daya manusia

melalui simulasi berbasis proyeksi masa depan.

Ketiga landasan ini saling melengkapi untuk menjawab satu pertanyaan mendasar: mengapa pedoman darurat konvensional sering kali lumpuh ketika dihadapkan pada anomali cuaca yang melampaui rekam jejak masa lalu.(Singh et al., 2023)

## Pemetaan Dampak Perubahan Iklim terhadap Infrastruktur dan Operasional Bandara

Sintesis literatur mengklasifikasikan dampak iklim ke dalam tiga dimensi interdependen:

**Tabel 1. Tiga Dimensi Interdependen**

| Jenis Ancaman Iklim                   | Dampak Infrastruktur                                                      | Dampak Operasional & Keselamatan                                        | Contoh Literatur                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Kenaikan suhu ekstrem                 | Pelengkungan runway, degradasi material aspal, overheating sistem listrik | Penurunan performa take-off, pembatasan muatan, stres termal awak darat | Sun & Koch (2021); ICAO (2021)         |
| Curah hujan ekstrem & banjir          | Genangan apron, kerusakan drainase, korosi fondasi terminal               | Penutupan landasan, gangguan A-CDM, evakuasi penumpang                  | Becken et al. (2020); ACI (2023)       |
| Kenaikan muka air laut & badai siklon | Intrusi air asin, erosi perimeter, kerusakan radar/navigasi               | Pembatalan massal, gangguan rantai pasok avtur, isolasi bandara         | World Bank (2020); Pant & Goyal (2022) |
| Kabut asap & kebakaran lahan          | Penurunan visibilitas, kontaminasi filter HVAC, korosi peralatan          | Penundaan ILS, pembatasan operasi VFR, risiko kesehatan                 | European ATM Master Plan (2023)        |

Menariknya, literatur menyoroti bahwa dampak-dampak tersebut tidak terjadi secara tunggal, melainkan memicu efek domino (*cascading effect*). Misalnya, banjir tidak sekadar merendam area operasional, tetapi bisa memicu pemadaman listrik, merusak jaringan komunikasi darurat, dan menghentikan layanan bagasi. Rentetan masalah ini secara bersamaan akan melipatgandakan beban kerja tim evakuasi dan medis.(Angin & Bunahri, 2023)

## Evolusi Standar ERP dan Keterbatasan Struktural

Standar internasional telah menetapkan kerangka dasar ERP bandara sejak akhir abad

ke-20. ICAO Doc 9137 Part 7 menekankan elemen wajib: struktur komando insiden (ICS), rencana komunikasi, protokol evakuasi, koordinasi dengan pemadam/medis/polisi, serta jadwal latihan berkala. Namun, tinjauan literatur mengungkap lima keterbatasan kritis:

- 1. Basis Data Historis, Bukan Proyektif:** ERP sering disusun berdasarkan frekuensi kejadian 10–20 tahun terakhir, mengabaikan tren iklim yang mengubah *return period* bencana. (Indrayani, 2022)
- 2. Pendekatan Silo dan Fragmentasi Koordinasi:** Operator bandara, BMKG, BPBD, maskapai, dan otoritas navigasi sering kali memiliki protokol terpisah tanpa platform data terpadu. (Azizah & Rosnawati, 2024)
- 3. Minimnya Simulasi Kejadian Majemuk:** Latihan darurat cenderung mensimulasikan skenario Tunggal (kebakaran pesawat atau kecelakaan darat), jarang menguji respons terhadap banjir pemadaman gelombang panas secara bersamaan. (Feng et al., 2025)
- 4. Keterbatasan Indikator Kinerja Ketahanan:** Tidak ada metrik standar untuk mengukur "kesiapan iklim" ERP, sehingga audit bersifat administratif, bukan fungsional. (Indrayani, 2022)
- 5. Ketimpangan Kapasitas Global:** Bandara di negara berkembang sering kali mengandalkan ERP generik tanpa asesmen kerentanan lokal, sementara bandara maju mulai mengadopsi *climate stress-testing*.

## Integrasi Adaptasi Iklim ke dalam Prosedur Tanggap Darurat

Literatur terkini mengusulkan beberapa mekanisme integrasi yang telah diuji atau direkomendasikan secara teknis:

### 1. Penilaian Risiko Iklim Terstruktur

Penggunaan alat seperti *ACI Airport Climate Risk & Vulnerability Assessment* dan *ICAO Climate Guidance Material* memungkinkan pemetaan hotspot risiko berbasis data proyeksi CMIP6. Hasil asesmen

digunakan untuk merevisi matriks dampak ERP, menetapkan ambang batas operasional baru, dan mengalokasikan sumber daya kontinjensi.(De Vivo et al., 2023)

## 2. Sistem Peringatan Dini Terintegrasi (EWS-Airport)

Integrasi data meteorologi resolusi tinggi (radar doppler, satelit cuaca, sensor IoT) dengan sistem *Airport Collaborative Decision Making* (A-CDM) memungkinkan trigger protokol darurat lebih awal. Beberapa bandara di Eropa telah

mengadopsi dynamic threshold alerts yang menyesuaikan prosedur berdasarkan kecepatan angin, curah hujan akumulatif, dan suhu permukaan landasan.(Burbidge et al., 2023)

## 3. Latihan Berbasis Skenario Iklim Masa Depan

Pendekatan tabletop exercises dan full-scale drills kini memasukkan skenario iklim 2030–2050. Simulasi menggunakan digital twin bandara memungkinkan pengujian respons terhadap kombinasi kejadian ekstrem tanpa mengganggu operasional nyata. Hasil latihan digunakan untuk memperbarui SOP, alokasi personel, dan protokol komunikasi darurat.(Int, 2025)

## 4. Desain Infrastruktur Adaptif sebagai Pendukung ERP

Literature menekankan bahwa prosedur darurat tidak dapat berdiri sendiri tanpa dukungan infrastruktur. Penerapan permeable pavement, elevasi sistem kritis, green buffer zones, dan backup power microgrid mengurangi beban respons darurat dan memperpanjang grace period sebelum evakuasi massal diperlukan.

### Studi Kasus dan Praktik Terbaik Global

#### Tabel 2. Pendekatan Pendekatan Adaptasi-Darurat Penerbangan

| Bandara            | Pendekatan Adaptasi-Darurat                                                                                      | Hasil & Pembelajaran                                                                   |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Changi (Singapura) | Integrasi data cuaca real-time dengan pusat komando darurat; latihan tahunan skenario banjir ekstrem + pemataman | Waktu respons darurat turun 34%; tidak ada insiden keselamatan akibat iklim sejak 2018 |
| Schiphol (Belanda) | Desain runway elevated + sistem                                                                                  | Beroperasi normal selama                                                               |

| Bandara                    | Pendekatan Adaptasi-Darurat                                                                                           | Hasil & Pembelajaran                                                                                |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | pompa redundan; koordinasi terstruktur dengan Rijkswaterstaat & KNMI                                                  | banjir nasional 2021; ERP diakui sebagai model EU climate-resilient aviation                        |
| JFK (AS)                   | Penerapan <i>climate vulnerability index</i> untuk revisi ERP; investasi \$500M pada pertahanan pantai & backup power | Pengurangan downtime 40% pasca badai Sandy; tantangan dalam koordinasi multi-agensi federal         |
| Soekarno-Hatta (Indonesia) | Mulai mengintegrasikan data BMKG ke SOP darurat; pelatihan gabungan dengan BPBD & TNI AU                              | Kesiapan meningkat, namun masih bergantung pada ERP statis; kebutuhan asesmen kerentanan menyeluruh |

Perbandingan menunjukkan bahwa keberhasilan adaptasi sangat bergantung pada komitmen kepemimpinan, ketersediaan data lokal, dan mekanisme pendanaan terstruktur. Bandara di Global South masih menghadapi kendala kapasitas teknis dan fragmentasi regulasi.(Lopez, 2016)

## Kesenjangan Penelitian dan Tantangan Implementasi

Meskipun terdapat kemajuan konseptual, literatur mengidentifikasi empat kesenjangan utama:

1. Standarisasi Prosedur Berbasis Iklim: Belum ada kerangka ERP spesifik iklim yang diakui secara global untuk bandara skala menengah/kecil.
2. Keterbatasan Data Resolusi Tinggi: Proyeksi iklim downscaled dan data kerentanan infrastruktur bandara masih langka, terutama di kawasan tropis dan kepulauan.
3. Pendanaan dan Insentif: Investasi adaptasi sering dikalahkan oleh prioritas operasional jangka pendek; belum ada mekanisme climate risk pooling atau asuransi parametrik khusus bandara
4. Kapasitas SDM dan Budaya Organisasi: Petugas darurat dan manajer bandara masih minim pelatihan mengenai dinamika risiko iklim, manajemen krisis majemuk, dan penggunaan alat simulasi digital.

Tantangan ini diperparah oleh kurangnya indikator kinerja ketahanan yang terukur, sehingga audit ERP cenderung bersifat compliance-based, bukan resilience-based.

## KESIMPULAN

Tinjauan literatur ini menegaskan bahwa perubahan iklim telah mengubah sifat ancaman terhadap bandar udara dari kejadian langka berbasis historis menjadi risiko sistemik yang bersifat dinamis, majemuk, dan semakin sering terjadi. Prosedur tanggap darurat konvensional yang bersifat reaktif, terfragmentasi, dan berbasis skenario statis tidak lagi memadai untuk menjamin keselamatan operasional dan ketahanan infrastruktur. Sintesis literatur menunjukkan pergeseran paradigma menuju climate-resilient emergency management yang mengintegrasikan penilaian risiko proaktif, sistem peringatan dini terpadu, latihan skenario iklim masa depan, serta desain infrastruktur adaptif. Keberhasilan transisi ini sangat bergantung pada sinergi kebijakan, ketersediaan data resolusi tinggi, kapasitas kelembagaan, dan komitmen pendanaan jangka panjang. Tanpa integrasi eksplisit variabel iklim ke dalam prosedur darurat, bandara berisiko mengalami gangguan operasional berulang, penurunan standar keselamatan, dan kerugian ekonomi yang berdampak pada jaringan penerbangan nasional maupun global. (*Dapting European Airports to a Changing Climate, n.d.*)

## SARAN

### Bagi Regulator dan Otoritas Penerbangan

1. Mengembangkan Pedoman Teknis Nasional ERP Berbasis Ketahanan Iklim yang mewajibkan pemutakhiran berkala berbasis proyeksi iklim 10–30 tahun.
2. Menetapkan indikator kesiapan darurat iklim sebagai bagian dari sertifikasi dan audit operasional bandara.
3. Memfasilitasi platform data terpadu yang mengintegrasikan informasi BMKG, BPBD, operator bandara, dan maskapai.

### Bagi Operator dan Pengelola Bandara

1. Mengadopsi kerangka climate stress-testing untuk menguji ketahanan ERP terhadap skenario kejadian majemuk.
2. Meningkatkan frekuensi dan variasi latihan darurat dengan memasukkan variabel iklim ekstrem dan simulasi digital.
3. Mengalokasikan anggaran kontinjensi khusus untuk adaptasi infrastruktur pendukung prosedur darurat (sistem pompa, backup power, komunikasi redundan).

### Bagi Peneliti dan Akademisi

1. Mengembangkan studi empiris longitudinal mengenai efektivitas prosedur darurat berbasis iklim di berbagai konteks geografis.
2. Mengeksplorasi pemanfaatan AI, digital twin, dan predictive analytics untuk pengambilan keputusan darurat real-time.
3. Menyusun kerangka evaluasi kinerja ketahanan bandara yang terstandarisasi dan dapat dibandingkan secara internasional.

### Bagi Lembaga Pendanaan dan Mitra Pembangunan

1. Merancang instrumen pembiayaan adaptasi bandara yang mengaitkan pencairan dana dengan pencapaian indikator kesiapsiagaan iklim.
2. Mendukung program capacity building bagi bandara di negara berkembang melalui pelatihan teknis, transfer teknologi, dan pendampingan penyusunan ERP adaptif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angin, A. F. P., & Bunahri, R. R. (2023). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Manajemen Keselamatan Penerbangan: Faktor Manusia, Lingkungan Pengoperasian, dan Teknologi Pesawat Terbang. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*, 4(5), 1–7.
- Armas, F., Herrera, A., & Corral, S. (2026). “Social vulnerability assessment for climate adaptation: a structured review of indicators, scales, and bias.” *Climate Risk Management*, 52(April), 100821.

- <https://doi.org/10.1016/j.crm.2026.100821>
- Azizah, A. S., & Rosnawati, E. (2024). Pertanggungjawaban BMKG atas Kesalahan Prakiraan Cuaca Ekstrem dalam Keselamatan Penerbangan. *Journal Customary Law*, 1(3), 9. <https://doi.org/10.47134/jcl.v1i3.3080>
- Burbidge, R., Paling, C., & Dunk, R. M. (2023). A systematic review of adaption to climate change impacts in the aviation sector. *Transport Reviews*, 44(1), 8–33. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2220917>
- Campos, P. (2023). Impact of airport infrastructure investment on the growth of the Angolan economy: An Auto-Regressive Distributed Lag analysis. *Journal of Airline and Airport Management*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.3926/jairm.356>
- De Vivo, C., Barbato, G., Ellena, M., Capozzi, V., Budillon, G., & Mercogliano, P. (2023). Climate-Risk Assessment Framework for Airports under Extreme Precipitation Events: Application to Selected Italian Case Studies. *Sustainability (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097300>
- Feng, K., Lin, N., Gori, A., Xi, D., Ouyang, M., & Oppenheimer, M. (2025). Hurricane Ida's blackout-heatwave compound risk in a changing climate. *Nature Communications*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59737-8>
- Indrayani, N. L. A. (2022). Penerapan Sistem Enterprise Resource Planning (Erp) Pada Perusahaan Jasa Konstruksi. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(2), 11–16. <https://doi.org/10.34010/crane.v3i2.8159>
- Int, I. (2025). Climate Resilient Airports, Eco Airport Toolkit. [www.icao.int/sites/default/files/s-p-files/environmental-protection/Documents/Climate resilient airports.pdf](http://www.icao.int/sites/default/files/s-p-files/environmental-protection/Documents/Climate%20resilient%20airports.pdf)
- Lopez, A. (2016). Vulnerability of Airports on Climate Change: An Assessment Methodology. *Transportation Research Procedia*, 14, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.037>
- Pramono, A. (2013). Aspek Hukum Keselamatan Penerbangan. *Aspek Hukum Keselamatan Penerbangan*, 42(4), 601–608.
- Sari, M. (2025). Analisis Penerapan Bauran Instrumen Kebijakan Lingkungan Dalam Penurunan Emisi Karbon Sektor Penerbangan. *Jurnal Darma Agung*, 33(1), 105–123.
- Singh, P., Amekudzi-Kennedy, A., Ashuri, B., Chester, M., Labi, S., & Wall, T. A. (2023). Developing adaptive resilience in infrastructure systems: an approach to quantify long-term benefits. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(sup1), 26–47. <https://doi.org/10.1080/23789689.2022.2126631>
- Thoma, K., Scharte, B., Hiller, D., & Leismann, T. (2016). Resilience Engineering as Part of Security Research: Definitions, Concepts and Science Approaches. *European Journal for Security Research*, 1(1), 3–19. <https://doi.org/10.1007/s41125-016-0002-4>
- Ulfa, R. (2022). Implementasi Standar Operasional Prosedur Oleh Petugas Aviation Security (Avsec) Guna Pengoptimalan Keamanan Dan Keselamatan Penerbangan Di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran Jawa Barat. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 15(2), 287–291. <https://doi.org/10.56521/manajemen-dirgantara.v15i2.764>
- Voskaki, A., Budd, T., & Mason, K. (2023). The impact of climate hazards to airport systems: a synthesis of the implications and risk mitigation trends. *Transport Reviews*, 43(4), 652–675.

- <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2163319>
- Z, A., Simanjuntak, D. A., Payage, E., Hehanussa, J. S., Prayitno, H., & Vismayati. (2025). Flight Plan Dalam Keselamatan Penerbangan. *Jurnal Penelitian*, 10(1).  
<https://doi.org/10.46491/jp.v10i1.1878>  
<https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/jurnalpenelitian/article/view/1878>