

# Penerapan *Eco Green Airport* dalam Rangka Pengurangan Emisi Karbon: *A Systematic Review*

V. Suryan<sup>1\*</sup>, P.W.A Chandra<sup>1</sup>, D. Amalia<sup>1</sup>, V. Septiani<sup>1</sup>, A.N. Sari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknologi Rekayasa Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Palembang, Palembang, INDONESIA

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, INDONESIA

\*Corresponding author: viktor@poltekbangplg.ac.id

## INTISARI

Industri penerbangan merupakan salah satu kontributor utama dalam emisi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Untuk mengatasi hal tersebut, konsep *eco green airport* muncul sebagai strategi untuk mengurangi dampak lingkungan dari operasi bandar udara. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis implementasi *eco green airport* dan efektivitasnya dalam mengurangi emisi gas karbon dunia. Metode penelitian ini adalah *systematic literature review* melalui pendekatan analisis kualitatif dan kuantitatif. Beberapa kajian yang direview diperoleh pada *database* akademik, seperti: *Scopus*, *Web of Science*, dan *Google Scholar* pada periode 2014-2024. Berdasarkan kajian literatur yang diperoleh akan dianalisis secara GAP untuk menemukan solusi efektif dalam penerapan *eco-airport*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk mengurangi emisi karbon dunia, strategi yang perlu diterapkan bandara, diantaranya: mengimplementasikan energi terbarukan, meningkatkan efisiensi energi, pengelolaan sampah, penggunaan transportasi hijau dan melakukan penghijauan serta pemanfaatan air berkelanjutan. Analisis hasil menunjukkan bahwa konsep *eco-airport* telah berhasil dalam mengurangi emisi gas karbon di beberapa bandara, namun efektivitasnya bervariasi tergantung skala implementasi dan komitmen bandara terhadap inisiatif hijau. Oleh sebab itu, kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat sipil diperlukan untuk memajukan inisiatif ini.

Kata kunci: *Eco green airport*, emisi karbon, kajian literatur, strategi penerapan.

## 1. PENDAHULUAN

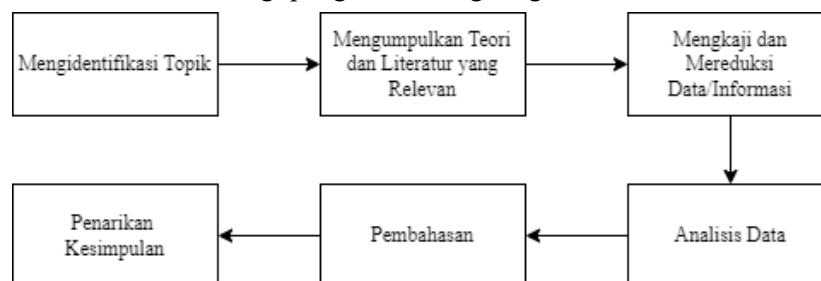
Pertumbuhan industri secara eksponensial menyebabkan peningkatan dalam emisi karbon. Emisi karbon yang meningkat mengakibatkan ketidakstabilan iklim dan cuaca di dunia. Selain itu, kualitas udara yang kian memburuk akan memicu penurunan metabolisme tubuh sehingga manusia akan mudah sakit. Emisi karbon dipicu oleh aktivitas manusia sehari-hari, seperti: penggunaan kendaraan berbahan dasar fosil, produktivitas pabrik dan pertambangan, limbah pertanian dan masih banyak lagi. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* Tahun 1992 menyebutkan bahwa sektor transportasi, khususnya transportasi udara menyumbang 3,5% dari total *anthropogenic forcing* di dunia (Pastika & Suardana, 2021). Hal ini berakibat fatal karena polusi yang timbul dari aktifitas manusia membuat iklim dan cuaca menjadi sulit diprediksi. Pada penelitian (Indriatmoko & Purwanta, 2017) terhadap perubahan iklim dan cuaca di bandara yang mampu menjadi ancaman terhadap aktivitas penerbangan, sebagai contoh: banjir dan kerusakan infrastruktur (*runway*, *taxiway*, *apron*) yang akan meningkatkan resiko kecelakaan pesawat di sisi udara. Hal ini akan menghambat jadwal penerbangan yang berpotensi ketidaktepatan waktu dan mengurangi kenyamanan dalam bertransportasi. Dalam mengatasi tantangan ini pemerintah berinisiatif untuk melakukan pembangunan dan kelestarian lingkungan hidup bandara dengan membuat PP No. 40 Tahun 2012 dengan konseptual *eco airport*. Selain itu agar mempercepat implementasi dari *eco-green airport* diperlukan suatu kebijakan atau regulasi dari pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara nomor: SKEP 124/VI/2009 tentang Pedoman Pelaksanaan Bandara Ramah Lingkungan.

*Eco green airport* merupakan konsep pengembangan bandara berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dari operasi bandar udara. Konsep ini adalah membuat atau memperkuat kebijakan dalam pengawasan kritis terhadap operasi dan kualitas. Dalam mendukung konsep ini beberapa peraturan dan inisiatif global telah diterapkan. Salah satunya adalah *Airport Carbon Accreditation (ACA)* yang dikelola oleh *Airports Council International (ACI)*. ACA adalah program sertifikasi bagi bandara untuk mengukur, mengelola, dan mengurangi jejak karbon mereka (Boca Santa dkk., 2020). Melalui program ini, bandara dapat melakukan evaluasi dan perbaikan berkelanjutan terhadap emisi karbon yang dihasilkan, sehingga dapat berkontribusi untuk mengatasi perubahan iklim dunia (Raffah, 2021). Pada *Urban Modelling Interface (UMI)* komponen lingkungan merupakan faktor yang harus diperhatikan untuk meminimalisir emisi karbon dari kegiatan operasional bandara yang meliputi empat aspek, yaitu: (1) FAR (*Floor Area Ratio*) untuk mengetahui kepadatan bangunan suatu kawasan, (2) *Lyfecycle* untuk mengetahui banyaknya polusi atau sampah yang dihasilkan bangunan di suatu kawasan, (3) *Energy operation* untuk mengetahui

banyaknya energi yang dibutuhkan suatu bangunan dalam operasionalnya, (4) *Mobility* untuk mengetahui aksesibilitas suatu kawasan. Keempat aspek tersebut merupakan parameter yang dilihat dari aspek lingkungan terbangun. Aspek keberlanjutan sebuah kawasan sebenarnya tidak dapat berjalan sendiri hanya dari aspek lingkungan akan tetapi harus berintegrasi juga dengan aspek sosial dan aspek ekonomi. Di Indonesia, konsep *eco green airport* telah diterapkan oleh beberapa bandara di Indonesia, diantaranya: Bandara I Gusti Ngurah Rai, Bandara Sultan Iskandar Muda, Bandara Kulon Progo, Bandara Sultan Thaha-Jambi dan Bandara Ngloram Cepu. Pada penelitian ini, peneliti akan mengkaji dari penelitian sebelumnya untuk menemukan strategi dan komitmen dari seluruh *stakeholder* dalam implementasi bandara berbasis *eco-airport*.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literatur Review* (SLR) seperti yang terlihat pada Gambar 1 dengan mengidentifikasi, mengkaji, mengevaluasi dan menafsirkan penelitian terkait implementasi *eco-green airport*. Proses pengambilan data dilakukan dengan mengidentifikasi berbagai artikel ilmiah, buku pendukung, regulasi, dan jurnal terkait penerapan *eco-green airport* se-Indonesia secara sistematis dengan mengikuti langkah-langkah yang telah ditetapkan (Triandini dkk., 2019). Tujuannya untuk memperkaya wawasan bagi pembaca terkait topik penelitian ini. Artikel ilmiah yang terpilih didapatkan melalui *database* akademik, seperti: *Scopus*, *Web of Science*, dan *Google Scholar* dengan menggunakan kata kunci “*eco green airport*”, “bandara ramah lingkungan”, “pengurangan emisi gas karbon” dan “strategi pengelolaan lingkungan bandar udara”.



Gambar 1. Tahapan Kajian Literatur

Sumber: Data Olahan (2024)

Artikel pendukung pada kajian ini dipilih pada periode 10 tahun terakhir, yaitu 2014 – 2024 dan mendapatkan 15 artikel sesuai topik yang dibahas. Dalam mempermudah pengumpulan data, peneliti telah menyeleksi 5 artikel ilmiah paling relevan berdasarkan pada relevansi topik, kedalaman analisis dan kesesuaian terhadap lokasi penelitian. Selain itu, peneliti akan mempertimbangkan sumber data lain apabila diperlukan. Hasil kajian ini diharapkan dapat menyintesis data literatur yang dipilih untuk menarik kesimpulan berdasarkan analisis GAP dengan melakukan evaluasi strategi yang diterapkan oleh bandara di seluruh dunia terhadap pengurangan emisi.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan instruksi dari Kementerian Perhubungan melalui Dirjen Perhubungan Udara mengeluarkan surat nomor AU. 105/1/4/DRJU-212 untuk seluruh bandara di Indonesia harus segera bertransformasi menjadi bandara yang ramah lingkungan atau dikenal sebagai *eco-airport* (Mahardhika & Ardianto, 2023). Konsep ini menekankan pada minimalisasi dampak pencemaran, pemanfaatan energi terbarukan, dan integrasi unsur lokalitas dalam desain arsitekturnya (Raffah, 2021). Tujuannya adalah menciptakan bandara yang tidak hanya efisien dan estetik, tetapi juga ramah lingkungan dan menjadi representasi khas daerahnya (Mulyani dkk., 2023). Berdasarkan pemilihan artikel yang relevan terkait penerapan *eco green airport* dapat diperhatikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Temuan Tentang Penerapan Konsep *Eco Airport* di Bandara

No.	Tema/Topik	Penulis (Tahun)
1	Implementasi konsep <i>eco green airport</i> di bandara	Pastika & Suardana (2021); Suryan, dkk., (2024); Yani, (2016); (Sari dkk., 2018)
2	Dampak penerapan <i>eco airport</i> terhadap kinerja bandara	Mulyani dkk., (2023); Mulyani dkk., (2024); Jasani dkk., (2021); Han dkk., (2020)
3	Inovasi teknologi untuk mendukung konsep bandara ramah lingkungan	Rizki & Syamsudin (2014); Lismawan dkk., (2021); Suryan, dkk., (2024); Agustini, (2019); Ihsan & Martolis (2018); Raffah, (2021)

4 Partisipasi *stakeholder* dalam mewujudkan *eco-green airport* Permatasari & Rusli, (2018)

---

Sumber: Data Olahan (2024)

Melihat hasil temuan literatur di atas, peneliti mengambil 5 artikel terbaik dengan kriteria, seperti: kesesuaian relevansi topik, kedalaman analisis dan kesesuaian terhadap lokasi penelitian yang akan dibahas lebih lanjut.

Penelitian Pastika & Suardana (2021) mengkaji tentang Penerapan *Eco Airport* pada Bandar Udara International I Gusti Ngurah Rai. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh peningkatan kegiatan operasional bandara yang berpengaruh terhadap kualitas udara lokal sehingga dapat mengganggu kesehatan masyarakat di sekitar area bandara. Hal ini karena aktivitas transportasi udara menyumbang 3,5% dari total *anthropogenic radiative forcing*. Sehingga penerapan konsep bandara ramah lingkungan yang telah terukur dari berbagai aspek sangat penting untuk diimplementasikan. Penerapan *eco-airport* pada bandara I Gusti Ngurah Rai telah menerapkan konsep *Environment Plan* (AEvP), melalui penggunaan *GPU power* dalam mengurangi polusi udara pesawat yang disebabkan oleh APU. Kemudian memanfaatkan cahaya matahari sebagai pencahayaan alami dengan melakukan pemasangan *skylight* pada atap terminal dan gedung lainnya sebagai bentuk efisiensi energi. Pada bandara ini telah memanfaatkan kendaraan listrik dengan kolaborasi energi berkelanjutan dalam mengurangi emisi karbon yang ditimbulkan dalam kegiatan operasional bandara. Selain itu, bandara ini juga menerapkan sistem pemanenan air hujan dengan cara mengumpulkan dan mendaur ulang air hujan agar dapat dimanfaatkan kembali untuk memenuhi kebutuhan air di bandara. Dalam proses pengelolaan limbah di bandara dapat dilakukan dengan melakukan pemilahan sampah organik dan anorganik. Kemudian dalam usaha menjaga kelestarian lingkungan alamiah di area bandara telah dilakukan penanaman pohon dan pembuatan lubang biopori sebagai daerah resapan air hujan yang mampu meminimalisir genangan di sekitar area bandara.

Penelitian Mulyani dkk., (2023) melakukan Kajian Potensi *Eco-Airport* untuk Bandara Sultan Iskandar Muda. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh potensi Indonesia dalam mengembangkan konsep bandara ramah lingkungan karena Indonesia memiliki periode waktu musim kemarau yang lebih panjang dibanding negara yang memiliki empat musim. Selain itu, Indonesia masih cenderung ketergantungan oleh energi fosil sebagai bahan bakar. Sehingga peneliti mengimplementasikan panel surya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam mengatasi kegagalan suplai listrik PLN, menghemat *cost airport*, dan menurunkan emisi gas karbon. Penerapan ini merupakan langkah awal dalam mendukung konsep *green energy* yang berkelanjutan di bandara. Hasil analisis didapatkan bahwa daya yang berhasil disuplai oleh PLTS *Hybrid* dengan penyimpanan 88 baterai untuk didistribusikan ke *Critical Load* sebesar 337,879 Wh, dan dibutuhkan modul surya sebanyak 192 unit dengan *inverter* 11 buah. Penerapan implementasi PLTS di bandara ini membutuhkan area sebesar 357,525 m<sup>2</sup>. Analisis pengaruh cuaca diasumsikan 6 bulan mengalami musim hujan dan 6 bulan musim kemarau, sehingga rata-rata listrik yang dapat dihasilkan per hari sebesar 188,155 kWh. Dalam aksi mitigasi emisi karbon PLTS yang direncanakan dapat mereduksi 188,15 kgCO<sub>2</sub> per harinya.

Mengkaji dari penelitian Mulyani dkk., (2024) tentang Implementasi Energi Angin di Bandara Kulon Progo Menuju Bandara Berkonsep *Eco-Airport*. Implementasi energi angin bertujuan untuk mengatasi kekurangan suplai listrik PLN, menghemat *cost* listrik dan menurunkan emisi gas karbon terhadap lingkungan sekitar. Hal ini dapat mendukung konsep bandara berkelanjutan dengan *green technology*. Berdasarkan analisis perhitungan kebutuhan energi listrik di bandara Kulon Progo setiap gedungnya mempunyai konsumsi daya yang berbeda, akan tetapi jumlah kebutuhan kapasitas energi sebesar 96.240.205,42 kWh. Adapun kebutuhan turbin untuk menyuplai kebutuhan energi listrik tersebut sebanyak 1.129 buah turbin. Berdasarkan analisis kuadrat terkecil, penggunaan energi listrik di tahun 2035 di bandara Kulon Progo sebanyak 156.706.587 kWh.

Dalam penelitian Rizki & Syamsudin, (2014) dengan Pengkajian Pelaksanaan dan Pengembangan Kapasitas Pengelolaan Limbah Padat dan Limbah Cair di Bandara Sultan Thaha-Jambi. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran pengelolaan limbah yang dihasilkan dari pengoperasian bandara. Pengelolaan limbah di bandara ini terdiri dari pengelolaan limbah padat dan cair. Pada proses pengelolaan limbah padat, petugas melakukan pengumpulan sampah ke tempat sampah yang tersedia dan akan dilakukan pembuangan menuju Tempat Pembuangan Sementara (TPS) dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sampah di TPA akan dipilah baik organik maupun non-organik. Sampah yang tergolong organik akan dijadikan pupuk untuk tumbuhan di area bandara, sedangkan sampah non-organik akan di *reduce*, *reuse* dan *recycle* agar dapat dimanfaatkan kembali. Kemudian pada proses pengelolaan limbah cair, terdapat beberapa tahapan. Tahap awal adalah penyaringan (*preliminary treatment*) untuk memisahkan partikel yang dapat merusak komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Tahap berikutnya adalah

pengolahan primer (*primary treatment*) yang melibatkan sedimentasi dan flotasi untuk memisahkan partikel padat dan lemak. Selanjutnya adalah pengolahan sekunder (*secondary treatment*) yang bertujuan menghancurkan material organik dalam air limbah. Tahap final (*final treatment*) melibatkan penghilangan organisme penyebab penyakit dengan menambahkan *chlorin* atau menggunakan sinar ultraviolet. Terakhir, pengolahan lanjutan (*advanced treatment*) dengan memastikan air limbah aman untuk disalurkan ke saluran drainase, sungai, dan selokan. Dari proses tersebut telah berjalan dengan baik, akan tetapi perlu dilakukan evaluasi terhadap kapasitas TPS lebih lanjut dan pembangunan IPAL agar pengelolaan dapat berjalan lebih optimal.

Penelitian yang dikemukakan oleh Lismawan dkk., (2021) tentang Penerapan *Green Roof* pada Perancangan Terminal Bandar Udara Ngloram Cepu di Blora Jawa Tengah. Perlu diketahui bahwa terminal merupakan fasilitas publik yang menjadi ciri khas dan memerlukan perhatian khusus agar mampu berfungsi secara efektif dan berkelanjutan. Bangunan terminal di iklim tropis cocok dalam penerapan teknologi *green roof* dalam menciptakan *sustainable design* sebagai bangunan ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumber energi dan sumber daya alam secara maksimal. Proses aplikasi konsep *green roof* di bandara ini diletakkan di atas atap terminal atau di antara area lekukan dengan fungsi menambah kesan estetis desain pada terminal. Selain itu, pemanfaatan teknologi ini mampu mengurangi polusi udara dan mengurangi radiasi matahari yang masuk melewati atap *skylight*. Penerapan *green roof* di area ini dapat sebagai penstabil suhu karena tumbuhan mampu menyerap polutan dan menukarkan menjadi oksigen dari hasil fotosintesis sehingga mampu meminimalisir efek urban. Selain itu, area *green roof* dapat digunakan sebagai media penampung air hujan yang dapat dikelola menjadi air bersih layak pakai untuk menyiram WC dan tanaman. Penerapan konsep *green roof* di area bangunan bandara dapat menjadi daya tarik tersendiri, mengurangi emisi karbon dunia dan mendukung terwujudnya *eco airport* di bandara Indonesia.

Mengkaji dari kelima bandara di Indonesia, yaitu: Bandara I Gusti Ngurah Rai, Bandara Sultan Iskandar Muda, Bandara Kulon Progo, Bandara Sultan Thaha-Jambi dan Bandara Ngloram Cepu ditemukan hasil bahwa kelima bandara tersebut telah menerapkan konsep *eco-airport* secara berkelanjutan. Penerapan *eco-airport* didasarkan pada Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara nomor: SKEP 124/VI/2009 tentang Pedoman Pelaksanaan Bandara Ramah Lingkungan untuk mencegah emisi karbon, mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi melalui pemanfaatan teknologi secara berkelanjutan. Terdapat beberapa strategi dalam penerapan *eco-airport* yaitu dengan pemanfaatan energi terbarukan, efisiensi energi, pengelolaan sampah, transportasi hijau, penghijauan dan pengelolaan air di bandara.

### 3.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat diperoleh dari alam dan dapat digunakan secara berkelanjutan tanpa mengalami kelangkaan. Adapun contoh sumber energi terbarukan diantaranya: matahari, angin, air, biomassa, panas bumi dan masih banyak lagi (Radhiana dkk., 2023). Sumber energi ini dapat digunakan sebagai bahan bakar peralatan karena menimbulkan lebih sedikit emisi karbon dibandingkan dengan sumber energi konvensional. Sebagian besar bandara di Indonesia termasuk kelima bandara yang menjadi analisa kajian penelitian ini telah menggunakan sumber energi terbarukan, baik menggunakan *solar cell*, turbin angin dan biomassa untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Meskipun energi yang dihasilkan dari penerapan energi terbarukan ini belum mampu mencukupi kebutuhan energi secara keseluruhan, bandara tetap dapat menghemat biaya operasional yang dikeluarkan. Selain itu, pemanfaatan energi terbarukan dapat berfungsi sebagai cadangan ketika terjadi pemadaman listrik PLN di bandara. Selain itu, penggunaan energi terbarukan mampu mereduksi emisi karbon per harinya sebagai bentuk mitigasi terhadap perubahan iklim dunia dan mendukung upaya keberlanjutan di lingkungan sekitar bandara (Pinatik dkk., 2023).

### 3.2 Efisiensi Energi

Efisiensi energi perlu diimplementasikan di bandara berbasis *eco-airport* melalui pengoptimalan sistem pendingin, pencahayaan dan penggunaan peralatan lainnya dengan efisien untuk mengurangi penggunaan energi secara signifikan. Pada sistem pendinginan, bandara berbasis *eco airport* meminimalkan penggunaan AC konvensional karena konsumsi energi yang tinggi dan memicu efek karbon yang signifikan. Penggunaan AC konvensional akan digantikan dengan penerapan *roof vents*, ventilasi pasif tipe *clerestories* dan penerapan taman hijau di tengah area terminal. Penerapan ini bertujuan untuk menjaga efektivitas aliran udara pada gedung agar suhu dan kelembaman dapat terjaga serta penumpukan panas berlebih dapat bersirkulasi lebih baik. Ventilasi *clerestories* dapat ditempatkan di atas atap sebagai tempat pertukaran udara. Udara yang masuk melalui ventilasi ini akan mengalami perpindahan kalor, sehingga suhu ruangan yang panas dapat keluar melalui *roof vents* (Arifin & Hidayat, 2018). Hal ini secara alami dapat menyejukkan ruangan dan mengganti penerapan AC konvensional di bandara. Dalam optimalisasi sistem

pencahayaan di bandara berbasis *eco-airport* menggunakan susunan atap bertipe *skylight* dengan bahan dasar kaca transparan agar mampu memberikan penyinaran secara langsung oleh matahari pada periode pagi hingga sore (Marzouk dkk., 2022). Selain itu, penerapan dinding kaca sebagai dinding pembatas sangat efektif untuk membiaskan cahaya yang masuk melalui *clerestories* dan *roof vent*, sehingga ruangan akan mendapatkan pencahayaan dengan baik (Xue dkk., 2014). Penerapan ini perlu memperhitungkan arah terbit-terbenam matahari agar cahaya yang masuk dapat menerangi ruangan dengan optimal. Penerapan sistem pencahayaan dan pendinginan dengan model ini dapat mengefisiensi penggunaan energi dan biaya operasional secara signifikan.

### 3.3 Transportasi Hijau

Konsep *green transportation* dimaksudkan agar transportasi yang ada di bandara dapat lebih ramah lingkungan dengan sedikit atau tidak menghasilkan emisi karbon (Dwiputri dkk., 2020). Penerapan transportasi hijau di bandara seperti pengadaan kendaraan listrik untuk transportasi internal bandara, penggunaan bus berbahan bakar hidrogen untuk mengangkut penumpang dari terminal ke pesawat dan penyediaan fasilitas parkir khusus untuk kendaraan berbahan bakar ramah lingkungan. Selain itu, implementasi stasiun pengisian daya untuk kendaraan listrik juga dapat disediakan agar pengguna mobil listrik dapat melakukan pengisian ulang bahan bakar secara efektif. Upaya penerapan transportasi hijau di bandara tidak hanya mengurangi emisi karbon, tetapi juga meningkatkan kualitas udara di sekitar area bandara dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

### 3.4 Pengelolaan Sampah

Limbah merupakan produk buangan yang tidak memiliki nilai atau manfaat jika tidak dikelola lebih lanjut. Limbah umumnya di kategorikan menjadi dua yaitu, limbah padat dan cair. Di bandara berbasis *eco green airport*, pengelolaan limbah dilakukan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan memaksimalkan proses daur ulang sampah agar dapat digunakan kembali sebagai bahan layak pakai (Rizki & Syamsudin, 2014). Terdapat strategi efektif untuk melakukan pengelolaan limbah agar dapat mengurangi efek lingkungan di area bandara, diantaranya: (1) Pengelolaan limbah padat. Petugas akan melakukan pembersihan area bandara dan melakukan pemilihan limbah organik dan anorganik. Kemudian, limbah yang telah terkumpul akan dibuang menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Di TPA, sampah yang tergolong organik akan dimanfaatkan sebagai pupuk kompos untuk tanaman di area bandara, sedangkan sampah yang tergolong anorganik akan dilakukan *reduce*, *reuse* dan *recycle* agar dapat dimanfaatkan kembali menjadi produk atau kerajinan layak pakai. Selain menerapkan langkah tersebut, pihak bandara juga akan menyediakan tempat sampah organik dan anorganik di berbagai sudut bandara untuk mencegah pengunjung membuang sampah sembarangan. Dalam meminimalisir limbah anorganik di area bandara, penyelenggara bandara melakukan penggantian kantong plastik dengan kantong *biodegradable*. (2) Pengelolaan limbah cair. Tahap awal pengelolaan limbah cair di bandara dilakukan dengan penyaringan partikel yang mampu merusak komponen IPAL. Selanjutnya limbah yang berhasil disaring akan dilakukan sedimentasi dan flotasi untuk memisahkan partikel padat dan lemak. Untuk menghancurkan material organik dalam air limbah dapat melibatkan mikroorganisme pada tahap pengelolaan sekunder. Kemudian untuk menghilangkan organisme penyebab penyakit dapat dengan menambahkan *chlorin* atau menggunakan sinar ultraviolet. Dengan demikian, air limbah dapat digunakan kembali untuk keperluan rumah tangga atau dapat disalurkan kembali melalui saluran drainase untuk mencegah pencemaran air di lingkungan area sekitar bandara.

### 3.5 Penghijauan

Bandara berbasis *eco-green airport* juga perlu menerapkan penghijauan dan pengelolaan air yang efektif untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan berkelanjutan. Penghijauan di area bandara berfungsi untuk menjaga temperatur udara dan meminimalisir efek urban. Hal ini karena oksigen yang dihasilkan melalui proses fotosintesis tanaman dapat menyerap polutan dan menurunkan kelembaban udara sehingga mampu memberikan kenyamanan bagi pengunjung. Penghijauan di area bandara dapat dilakukan dengan penanaman dan pemeliharaan pohon di area taman hingga ruangan terminal serta penerapan *green roof*. Penanaman dan pemeliharaan pohon di bandara dapat dilakukan dengan cara penyiraman dan pemangkasan secara berkala agar tampilan tanaman lebih estetik dan enak dipandang. *Green roof* merupakan penghijauan di atas atap bangunan datar yang telah dilapisi *waterproofing* yang disusun dalam beberapa *layer* (Leite & Antunes, 2023). Tanaman yang ditanam di *green roof* umumnya adalah tanaman yang tahan terhadap terpaan sinar dan tanaman berakar serabut. Hal ini agar tanaman tidak merusak bagian atap gedung (Risdana dkk., 2023). Untuk menghiasi bagian atap tanaman yang digunakan adalah tanaman hias berbatang lunak, seperti: rumput hias, mawar, melati, *bougainville* dan tanaman hias menjalar, seperti: *lee kuan yew*, dolar, bunga kuku macan dan sebagainya. Dengan implementasi penanaman dan pemeliharaan pohon serta penerapan *green roof* di bangunan bandara, kita dapat mengurangi pemanasan bangunan selain memberikan dampak ekologis dan estetika.

### 3.6 Pengelolaan Air

Pengelolaan air menjadi faktor penting dalam keberlangsungan aktivitas di bandara. Pengelolaan air bertujuan untuk menghemat *cost* dan mencegah pemborosan air. Terdapat beberapa strategi pengelolaan air di bandara diantaranya: *rainwater harvesting system*, *water saving faucet packing* dan *gray water utilization systems*. Pada *rainwater harvesting system* menggunakan metode konservasi air tanah melalui penampungan dan pemanfaatan air hujan untuk memenuhi kebutuhan sanitasi (Bagheri, 2018). Penerapan sistem ini di terminal bandara sangat efektif untuk mengatasi permasalahan air bersih dan meningkatkan efisiensi terhadap pengelolaan air di bandara. Kemudian, *water saving faucet packing* berfungsi untuk mengurangi pemborosan air. Keran ini dilengkapi aerator yang mencampur air dan udara sehingga mengurangi aliran air tanpa mengurangi tekanan (Bieliatynskiyi dkk., 2018). Selanjutnya menerapkan penggunaan *gray water utilization systems* dengan memproses dan mendaur ulang limbah air domestik yang tidak terkontaminasi, seperti: air hasil penggunaan *shower*, wastafel dan mesin cuci untuk digunakan kembali (Wiriani & Sukada, 2022). Proses pengolahan melibatkan beberapa tahapan seperti penyaringan awal, pengendapan, biofiltrasi dan desinfeksi. Dengan penerapan pengelolaan air ini dapat membantu untuk mengurangi konsumsi air bersih dan memanfaatkan kembali limbah air domestik, sehingga mampu meningkatkan efisiensi air di bandara.

Implementasi strategi *eco-green airport* telah menunjukkan hal positif dalam mengurangi emisi karbon di beberapa bandar udara. Inisiatif ini melibatkan beberapa langkah, seperti: penggunaan energi terbarukan, pengelolaan sampah, penghijauan dan pengelolaan air serta transportasi hijau untuk meningkatkan efisiensi di seluruh operasional bandara. Namun, efektivitas dari strategi *green airport* ini bervariasi tergantung pada skala implementasi dan komitmen masing-masing bandara terhadap inisiatif hijau. Bandara yang memiliki sumber daya tinggi memiliki kemampuan yang lebih besar dalam melakukan perubahan dengan mengadopsi teknologi ramah lingkungan. Sebaliknya, bandara yang memiliki keterbatasan sumber daya akan mengalami hambatan dalam menerapkan langkah-langkah serupa. Komitmen seluruh *stakeholder* dan kebijakan dari pemerintah memainkan peran dalam keberhasilan implementasi strategi ini. Sehingga keberhasilan penerapan *eco-green airport* ini dapat membawa dampak positif dalam memerangi emisi karbon dunia yang selalu meningkat tiap tahunnya.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan konsep *eco green airport* merupakan langkah penting dalam mengurangi dampak industri penerbangan terhadap perubahan iklim. Dalam mempercepat implementasi dari *eco-green airport* diperlukan suatu kebijakan atau regulasi dari pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara nomor: SKEP 124/VI/2009 tentang Pedoman Pelaksanaan Bandara Ramah Lingkungan. Dari regulasi tersebut, pihak bandara dapat menentukan Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk memastikan optimalisasi dalam pelaksanaan kegiatan operasional agar sesuai dengan aturan yang berlaku. Dalam menerapkan strategi *eco green airport* dibutuhkan penerapan energi terbarukan, efisiensi energi, pengelolaan sampah, transportasi hijau, penghijauan dan pengelolaan air yang baik. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir pencemaran lingkungan yang timbul dari kegiatan operasional bandara dan menghemat *cost* agar pemanfaatannya dapat dialihkan pada kepentingan yang lebih *urgent*. Meskipun dalam penerapan bandara *eco airport* masih terdapat tantangan yang harus diatasi, komitmen kolektif dan inovasi berkelanjutan dapat membantu mencapai tujuan pengurangan emisi gas karbon secara signifikan. Edukasi kepada seluruh *stakeholder* bandara dan *monitoring* secara berkelanjutan untuk mengukur strategi yang telah diterapkan penting untuk dilakukan dalam mewujudkan bandara *eco airport* di Indonesia.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Penerbangan Palembang dan seluruh *stakeholder* yang telah berkontribusi dengan memberikan dukungan penuh baik langsung maupun tak langsung. Dukungan tersebut memungkinkan pelaksanaan penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan menghasilkan *output* yang optimal. Kontribusi dan komitmen dari semua pihak sangat berharga dalam mencapai hasil yang maksimal dalam penelitian.

## REFERENSI

- Agustini, E. D. (2019). Pengelolaan Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta Menuju Aspek Eco-Modern Airport. *Warta Penelitian Perhubungan*, 23(5). <https://doi.org/10.25104/warlit.v23i5.1106>
- Arifin, I. N., & Hidayat, M. S. (2018). Pengaruh Bukaian Terhadap Kinerja Termal pada Masjid Jendral Sudirman. *Vitruvian Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*, 7(2).

- Bagheri, F. (2018). Performance Investigation of Atmospheric Water Harvesting systems. *Water Resources and Industry*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2018.08.001>
- Bieliatynskiy, A., Osipa, L., & Kornienko, B. (2018). Water-Saving Processes Control of An Airport. *MATEC Web of Conferences*, 239. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823905003>
- Boca Santa, S. L., Ribeiro, J. M. P., Mazon, G., Schneider, J., Barcelos, R. L., & Guerra, J. B. S. O. de A. (2020). A Green Airport Model: Proposition Based on Social and Environmental Management Systems. *Sustainable Cities and Society*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102160>
- Dwiputri, M., Saputra, I., Alimah, I., & Hamdani, N. (2020). Kajian Kompatibility Green Transportation Untuk Kota Bogor. *RUSTIC*, 1(1). <https://doi.org/10.32546/rustic.v1i1.886>
- Han, H., Quan, W., Lho, L. H., & Yu, J. (2020). Eco-design of Airport Buildings and Customer Responses and Behaviors: Uncovering the Role of Biospheric Value, Reputation, and Subjective Well-Being. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23). <https://doi.org/10.3390/su122310059>
- Ihsan, M., & Martolis, M. (2018). Desain dan Pengembangan Smart Baggage Handling System pada Bandara Berbasis Eco Airport. *APPROACH: Jurnal Teknologi ...*, 2(1).
- Indriatmoko, R. H., & Purwanta, W. (2017). Perubahan Lingkungan dan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan iklim di Bandar Udara Hasanuddin, Makassar. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(1).
- Jasani, M. T., Ruhayat, N., & Ihsan, M. (2021). Perkiraan Kebutuhan Energi dalam Operasional Under Ground Terminal untuk Smart Eco Airport. *Warta Ardhia*, 46(2). <https://doi.org/10.25104/wa.v46i2.384.122-132>
- Leite, F. R., & Antunes, M. L. P. (2023). Green roof recent designs to runoff control: A review of building materials and plant species used in studies. Dalam *Ecological Engineering* (Vol. 189). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106924>
- Lismawan, M. D., Dermawati, D., & Utami, L. (2021). Penerapan Green Roof Pada Perancangan Terminal Bandar Udara Ngloram Cepu di Bora Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Intelektual Muda*, 2(1). <https://doi.org/10.25105/psia.v2i1.8962>
- Mahardhika, S., & Ardianto, O. P. S. (2023). Aplikasi Corak Budaya Kalimantan Barat pada Desain Instalasi Kinetik Interior Bandar Udara Internasional Supadio. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 11(4). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v11i4.72936>
- Marzouk, M., ElSharkawy, M., & Mahmoud, A. (2022). Optimizing Daylight Utilization of Flat Skylights in Heritage Buildings. *Journal of Advanced Research*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.06.005>
- Mulyani, S., Hermawan, D., & Prihandoko, D. (2024). Implementasi Energi Angin di Bandara Kulon Progo Menuju Bandara Berkonsep Eco-Airport. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 24(1), 76–82. <https://www.journal.ity.ac.id/index.php/JRL/article/view/267>
- Mulyani, S., Setiabudi, D. H., & Prihandoko, D. (2023). Kajian Potensi Eco-Airport Untuk Bandara Sultan Iskandar Muda. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), 97–103. <https://journal.ity.ac.id/index.php/JRL/article/view/209>
- Pastika, I. K. Y., & Suardana, Putu Gede Ery. (2021). Penerapan Eco Airport pada Bandara Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai. *Jurnal Analisa*, 9(2).
- Permatasari, I., & Rusli (2018). Pengawasan dan Pengendalian PT. Angkasa Pura II dalam Pelaksanaan Eco-Airport di Bandara Sultan Syarif Kasim II Pekanbaru. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Pinatik, I. D., Riogilang, H., & Mangangka, I. R. (2023). Analisis Beban Emisi CO<sub>2</sub> di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado Dengan Metode Intergovernmental Panel on Climate Change. *Tekno*, 21(84).
- Radhiana, Yana, S., Muzailin, Zainuddin, Susanti, Kasmaniar, & Hanum, F. (2023). Strategi Keberlanjutan Pembangunan Energi Terbarukan Jangka Panjang Indonesia: Kasus Biomassa Energi Terbarukan di Sektor Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan Indonesia. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1).
- Raffah, A. M. (2021). Analisis Penerapan Konsep Eco Green Airport dalam Menangani Pencemaran Air Limbah di Bandara Internasional Husein Sastranegara Bandung. *Manners*, 4(1).
- Risdana, F., Munir, A., & Ariatsyah, A. (2023). Kinerja Termal Green Roof dengan Penggunaan Tanaman Hidroponik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Arsitektur dan Perencanaan*, 6(4). <https://doi.org/10.24815/jimap.v6i4.21761>
- Rizki, Y. S., & Syamsudin, R. (2014). Pengkajian Pelaksanaan dan Pengembangan Kapasitas Pengolahan Limbah Padat dan Limbah Cair Di Bandara Sultan Thaha-Jambi. *Warta Ardhia*, 40(3). <https://doi.org/10.25104/wa.v40i3.131.189-202>
- Sari, N. A., Septiani, R. M., Simarmata, J., Apriyadi, D., & Sakti, R. D. (2018). The Implementation of Aerotropolis and Eco-Airport Concept Towards Kertajati International Airport Introduction. *Advance in Transportation and Logistics Research*, 1.
- Suryan, V., Amalia, D., Martadinata, M. I., Septiani, V., Nurfitri, M. A., Silitonga, E., & Chandra, P. W. A. (2024). Eco Airport Design: Rancangan Gedung Terminal Ramah Lingkungan pada Bandar Udara. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(2), 759–773. <http://talentasipil.unbari.ac.id/index.php/talenta/article/view/583>
- Suryan, V., Septiani, V., Nurfitri, M. A., Amalia, D., Silitonga, E., Chandra, P.W.A & Febriansyah, A. (2024). Green Concrete: Residu Pembakaran Sampah Plastik dan Tekstil Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus pada Campuran Beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 192–199. <https://doi.org/10.33087/TALENTASIPIL.V7I1.348>
- Triandini, E., Jayanatha, S., Indrawan, A., Werla Putra, G., & Iswara, B. (2019). Metode Systematic Literature Review untuk Identifikasi Platform dan Metode Pengembangan Sistem Informasi di Indonesia. *Indonesian Journal of Information Systems*, 1(2). <https://doi.org/10.24002/ijis.v1i2.1916>
- Wiriani, L., & Sukada, B. A. (2022). Kantor Sewa dan Co-Working dengan Pemanfaatan Taman Energi Terbarukan. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2). <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12774>
- Xue, P., Mak, C. M., & Cheung, H. D. (2014). New Static Lightshelf System Design of Clerestory Windows for Hong Kong. *Building and Environment*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.017>

Yani, S.-. (2016). Konsep Eco-Airport Untuk Meminimalisasi Emisi Bandara Kulon Progo. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 2. <https://doi.org/10.28989/senatik.v2i0.40>