

## ***Eco Airport Design: Rancangan Gedung Terminal Ramah Lingkungan pada Bandar Udara***

**Viktor Suryan\*, Direstu Amalia, M. Indra Martadinata, Virma Septiani, Meta Amalia Nurfitri, Evandri Silitonga, Putu Wisnu Ardia Chandra**

Politeknik Penerbangan Palembang

\*Correspondence email: viktor@poltekbangplg.ac.id

**Abstrak.** Peningkatan kesadaran akan pentingnya pelestarian lingkungan telah mendorong perkembangan konsep desain ramah lingkungan di berbagai bidang, termasuk infrastruktur transportasi udara. Fokus utama penelitian ini adalah mengusulkan rancangan gedung terminal ramah lingkungan untuk bandar udara dengan pendekatan *Eco Airport Design*. Penelitian ini akan melibatkan studi kasus dari bandar udara tertentu untuk menyelidiki potensi dan tantangan dalam menerapkan prinsip-prinsip desain ramah lingkungan dalam terminal bandar udara. Metode penelitian yang digunakan akan mencakup observasi, analisis data lingkungan, serta studi literatur terkait. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan pedoman dan rekomendasi desain yang mempromosikan efisiensi energi, pengurangan limbah, penggunaan material ramah lingkungan, layout yang memanfaatkan udara dan Cahaya alami, serta meningkatkan kualitas lingkungan di sekitar bandar udara. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya perlindungan lingkungan dalam konteks infrastruktur transportasi udara, terutama desain bandara untuk kategori tersier atau melayani penumpang sampai dengan satu juta per tahun.

**Kata Kunci:** *eco airport*; desain; gedung terminal.

**Abstract.** Increasing awareness of the importance of environmental conservation has encouraged the development of eco-design concepts in various fields, including air transportation infrastructure. The main focus of this research is to propose an eco-friendly terminal building design for airports using the *Eco Airport Design* approach. The research will involve case studies of specific airports to investigate the potential and challenges of applying eco-design principles in airport terminals. The research methods used will include observation, environmental data analysis, and the study of related literature. This research aims to develop design guidelines and recommendations that promote energy efficiency, waste reduction, use of eco-friendly materials, layouts that utilize natural air and light, and improve the environmental quality around the airport. The results of this research are expected to significantly contribute to environmental protection efforts in the context of air transportation infrastructure, particularly airport design for tertiary categories or those serving up to one million passengers per year.

**Keywords:** *eco airport*; design; terminal building.

### **PENDAHULUAN**

Desain bandara yang ramah lingkungan atau *eco-friendly airport* menjadi semakin penting di era saat ini, di mana perubahan iklim dan kelestarian lingkungan menjadi perhatian global. Dengan mempertimbangkan data perubahan iklim dan pentingnya menjaga lingkungan, bandara sebagai pintu gerbang perekonomian dan representasi suatu daerah harus dirancang tidak hanya untuk keindahan dan kenyamanan tetapi juga untuk keberlanjutan lingkungan (Falah and Maya Andria Nirawati, 2024). Secara umum, bandara dirancang untuk menyediakan pelayanan yang efisien dan nyaman bagi penumpang. Desainnya seringkali mencerminkan identitas lokal melalui adopsi elemen-elemen arsitektur tradisional atau simbolis daerah tersebut. Aspek utama yang diperhatikan dalam desain bandara antara lain adalah keamanan, kapasitas, alur penumpang (dari kedatangan, *check-in*, keamanan, hingga keberangkatan), serta fasilitas penunjang seperti : restoran, toko, dan lounge. Penggunaan sistem pencahayaan, ventilasi, dan air yang efisien merupakan bagian penting dari desain ini, namun sering kali masih bergantung pada sumber daya konvensional seperti listrik dari PLN yang bersumber dari bahan fosil dan sistem penyediaan air dari PDAM (Magdalena and Tondobala, 2016).

Sesuai dengan instruksi yang dikeluarkan oleh Kementerian Perhubungan melalui Ditjen Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan kepada seluruh bandara internasional di Indonesia untuk segera memulai pelaksanaan bandara *eco-friendly* atau bandara ramah lingkungan. Instruksi ini

dikeluarkan dengan nomor AU. 105/1/4/DRJU-212 oleh Dirjen Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan. Menurut Yani (2016) konsep bandara hijau diharapkan dapat membantu mengurangi emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dari industri penerbangan, yang berkontribusi sebesar 2% terhadap perubahan iklim. Ide dasar dari bandar udara ramah lingkungan adalah membuat atau memperkuat kebijakan dan pengawasan yang penting untuk meningkatkan operasi dan kualitas (Raffah, 2021). Komponen lingkungan dalam Urban Modelling Interface (UMI) digambarkan dalam empat aspek: FAR (Floor Area Ratio) untuk mengetahui kepadatan bangunan di suatu wilayah, lifecycle untuk mengetahui banyaknya polusi atau sampah yang dihasilkan oleh bangunan di wilayah tersebut, dan energy operation untuk mengetahui banyaknya energi yang dibutuhkan oleh suatu bangunan untuk beroperasi. Selain itu, mobilitas, yang berarti mengetahui seberapa mudah aksesibilitas suatu area, merupakan parameter yang dilihat dari elemen lingkungan terbangun. Keberlanjutan sebuah wilayah memerlukan integrasi dari aspek sosial dan ekonomi, bukan hanya lingkungan. Untuk mengurangi emisi karbon, bandara ramah lingkungan dapat menanam pohon, menggunakan material gedung ramah lingkungan, menghimbau agar maskapai penerbangan menggunakan pesawat jenis baru, menggunakan biofuel di wilayah apron, dan menggunakan jangka waktu penerbangan yang lebih lama dibandingkan pesawat lama. Dengan asumsi trafik tumbuh 5% per tahun, kontribusi sektor penerbangan terhadap perubahan iklim akan menjadi 3% pada tahun 2050.

Menurut Kania (2022), pergantian armada pesawat secara masif dan cepat tidak mungkin karena penerbangan sangat bergantung pada bahan bakar cair fosil, peraturan keselamatan yang ketat, dan waktu pengembangan pesawat dan pergantian armada yang lama. Menurut studi yang dilakukan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), industri penerbangan global (baik domestik maupun internasional, baik penumpang maupun kargo) diperkirakan berkontribusi sebesar 2,5% dan 1,9% dari emisi CO<sub>2</sub>, serta 3,5% dari "Efek Radiatif Forcing" (ERF) terhadap perubahan iklim (Jamin *et al.*, 2004). Prinsip-prinsip lingkungan dan teknologi yang digunakan dalam redesign untuk menunjukkan kontribusi perusahaan terhadap lingkungan hidup dan mewujudkan misi dan nilai perusahaan, yaitu menjadikan lingkungan sebagai acuan dalam menjalankan kegiatan bisnis dan pekerjaan. Selain itu, pemerintah meminta seluruh bandara di Indonesia untuk menerapkan bandara ramah lingkungan pada 2012. Namun, pendekatan teknologi digunakan untuk membuat desain yang inovatif dan efektif yang diharapkan mencerminkan identitas perusahaan dan kota (Tabaru & Rumapea, 2016).

Banyak gedung terminal bandara saat ini yang bergantung pada penggunaan *air conditioning* (AC) secara intensif, listrik yang bersumber dari bahan fosil, dan pasokan air dari PDAM. Namun, telah ada peraturan dan inisiatif global yang mendorong pengembangan *eco airport*, yang tidak hanya mengurangi jejak karbon tetapi juga mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam. Contohnya, Bandara Internasional Changi di Singapura dan Bandara Schiphol di Amsterdam telah menerapkan berbagai strategi keberlanjutan, dari pengolahan air limbah, penggunaan energi terbarukan, hingga desain bangunan yang memaksimalkan cahaya alami (Nahar, 2013). Bangunan gedung terminal, khususnya yang berada di iklim tropis atau subtropis, sering kali sangat bergantung pada penggunaan sistem pendinginan udara (AC) untuk menjaga kenyamanan pengunjung dan staf. Penggunaan AC yang intensif ini mengarah pada konsumsi energi yang tinggi dan emisi karbon yang signifikan. Studi terkini menyoroti perlunya transisi ke sistem pendinginan yang lebih efisien dan ramah lingkungan, seperti penggunaan pendingin udara yang memanfaatkan energi terbarukan atau teknologi pendingin pasif (Mulyani, Setiabudi and Prihandoko, 2023a). Dalam konteks Indonesia, PLN (Perusahaan Listrik Negara) merupakan penyedia utama listrik, dengan sumber energi yang masih dominan berasal dari bahan bakar fosil, seperti batu bara, gas alam, dan minyak. Ini menimbulkan kekhawatiran terhadap sustainability dan dampak lingkungan dari operasional gedung terminal. Namun, ada upaya berkelanjutan untuk meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi, termasuk penggunaan solar panel di beberapa fasilitas untuk mengurangi ketergantungan pada listrik berbasis fosil.

Meskipun PDAM berusaha menyediakan air bersih dan aman, tantangan seperti kekurangan air, infrastruktur yang belum memadai, dan kualitas air yang bervariasi tetap menjadi isu penting (Fetni, Sudirman Baso and Anis Ribcalia Septiana, 2023). Beberapa gedung mulai menerapkan sistem pengelolaan air mandiri, seperti pengolahan air hujan dan daur ulang air *greywater*, untuk mengurangi ketergantungan pada PDAM dan meningkatkan keberlanjutan (Wiriani and Sukada, 2022). Menyikapi kondisi saat ini, ada urgensi untuk gedung terminal melakukan inovasi dan adopsi terhadap praktik

yang lebih berkelanjutan. Ini termasuk investasi dalam teknologi ramah lingkungan, penggunaan sumber energi terbarukan, serta implementasi sistem manajemen air yang efisien. Mengingat peran penting terminal sebagai pusat transportasi, upaya ini tidak hanya akan berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan tetapi juga meningkatkan kenyamanan dan kepuasan pengguna.

Konsep *eco airport* mengacu pada pengembangan dan operasional bandara yang berkelanjutan, dengan tujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Ini termasuk pengurangan emisi karbon, pengelolaan limbah yang efisien, penggunaan energi terbarukan, dan konservasi air. Beberapa peraturan dan inisiatif global telah diterapkan untuk mendorong bandara menjadi lebih ramah lingkungan, seperti *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 et al., 2020).

Pada penelitian ini diharapkan dapat menemukan desain yang baik terhadap pengoptimalan penggunaan jendela terbuka atau sistem ventilasi alami dapat mengurangi kebutuhan akan AC dan memanfaatkan cahaya alami melalui desain jendela, atap transparan, atau fasad yang memungkinkan penetrasi cahaya matahari dapat mengurangi kebutuhan akan pencahayaan buatan selama siang hari. Selain itu, instalasi panel surya dapat menjadi sumber energi terbarukan yang mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Serta dapat merancang implementasikan sistem pengelolaan air limbah dan pengumpulan air hujan untuk mengurangi ketergantungan pada pasokan air dari luar. Pada penelitian akan dibatasi pada desain bandara dengan kapasitas kecil hingga menengah atau bandara tersier yang melayani penumpang hingga satu juta per tahun.

## METODE

Dalam perancangan gedung terminal berbasis *eco-friendly design* ini menggunakan metode kualitatif. Metode kualitatif merupakan penelitian yang melibatkan analisis data berupa deskripsi data yang tidak secara langsung dapat dikuantitatifkan dan cenderung menggunakan analisis dalam merepresentasi kesimpulan data (Fadli, 2021). Jenis penelitian ini menggunakan pendekatan literatur, observasi dan analisis data. Dalam studi literatur, peneliti mengumpulkan beberapa data dari berbagai sumber, seperti : buku, jurnal dan internet sebagai data pendukung penelitian ini. Kemudian, peneliti melakukan observasi di lapangan dengan melakukan pengamatan langsung pada lokasi bandara terdekat.

### Tahapan Penelitian



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian ini seperti gambar 1 dengan uraian sebagai berikut:

1. Pengumpulan data: menguraikan teknik-teknik seperti wawancara mendalam, observasi partisipatif, dan analisis dokumen yang akan digunakan untuk mengumpulkan data.
2. Identifikasi kebutuhan dan tantangan: mengidentifikasi kebutuhan dan tantangan dalam merancang gedung terminal ramah lingkungan.
3. Analisis desain yang ada: menganalisis desain terminal bandara yang ada untuk mengidentifikasi kekurangan dan potensi perbaikan dari sudut pandang lingkungan.
4. Pengembangan konsep desain: mengembangkan konsep-konsep desain baru yang memperhitungkan aspek-aspek lingkungan.
5. Validasi konsep: memvalidasi konsep-konsep desain melalui diskusi

### Analisis Data

Analisis dokumen: menganalisis dokumen-dokumen terkait seperti regulasi lingkungan dan desain terminal bandara yang ada. Interpretasi data: menginterpretasikan data untuk menarik kesimpulan tentang faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam desain terminal bandara yang ramah lingkungan.

## HASIL

*Eco-friendly airport* merupakan model bandara ramah lingkungan yang diterapkan dengan penggunaan elemen estetik budaya local dalam desain terminal bandara. Dalam proses desain sangat perlu diperhatikan karena bandara merupakan pintu gerbang utama yang mencirikan daerah tertentu dan mampu menjadi daya tarik wisatawan dengan menonjolkan keanekaragaman, budaya, tradisi, flora-fauna, keindahan alam dengan arsitektur ornament local yang unik (Purnomo, 2020). Arsitektur bangunan yang unik mampu memberikan kontribusi khusus dengan menarik hati pengunjung agar betah berada di terminal sembari menunggu jadwal keberangkatan. Hal ini sesuai dengan tujuan utama pembangunan gedung terminal yaitu membantu mobilitas masyarakat dalam memenuhi kebutuhan (Fajriati, 2018). Dalam desain terminal bandara berbasis *eco-friendly airport* yang dirancang sangat memerhatikan unsur lokalitas dengan pemilihan konsep yang menyelaraskan tipologi, penataan bentuk, dekorasi ruangan, sirkulasi, pencahayaan dan analisis kebisingan. Tujuannya agar mampu mengurangi dampak lingkungan yang kurang baik, meningkatkan kenyamanan manusia, efektifitas lahan dan meminimalisir penggunaan energi (Cahyani, 2018). Desain yang disusun secara konseptual ini harus dapat memberikan kesan fungsi bangunan terminal yang berkesinambungan dengan alam dan manusia. Selain itu bertujuan untuk menciptakan bangunan dengan fungsi norma yang *modern-futuristik* dengan cara menerapkan unsur filosofis dari arsitektur biomimetika dengan tema *green arsitecture*. *Green arsitecture* merupakan sebuah tema arsitektur yang berfokus dalam meminimalisir konsumsi sumber daya alam, efisiensi energi, penggunaan air yang bijak dan berkelanjutan serta penggunaan material non-polusi atau daur ulang (Wicaksono et al., 2019). Tujuan adanya arsitektur hijau adalah untuk meminimalisir kerusakan alam dan lingkungan di tempat bangunan itu berdiri.

Pada penelitian ini dirancang terminal dengan hall kedatangan dengan luasan total 759,5 meter dan *hall* keberangkatan 781,4 meter. Untuk memperhitungkan kebutuhan solar panel, baterai dan efisiensi penggunaannya, peneliti melakukan analisa *layout* bandara yang dirancang dan dapat diperhatikan pada tabel 2.

**Tabel 2.** Data Dimensi Bandara *Eco-Airport*

No.	Fasilitas	Dimensi (m)		Terminal Domestik (m2)
		P	L	
1	Luas <i>Hall</i> Keberangkatan	37	10,5	388,5
2	Ruang Tunggu Keberangkatan	42,5	14,8	629
3	<i>Check in Area</i>	17,5	22,5	393,75
4	<i>Check in Counter</i>			4 Unit
5	Tempat Duduk			50 Unit
6	Fasilitas Umum ( <i>Toilet</i> )			
	Pria	5,25	4	21
	Wanita	5,25	4	21
7	Hall Kedatangan			
	A	30	5,25	157,5
	B	28,5	7	199,5
8	<i>Baggage Claim Area</i>	30	5,25	157,5
9	Informasi dan Tenant	25,5	4	102
	<b>TOTAL</b>			<b>2069,75</b>

Sumber: Data Olahan (2024)

Pada penelitian ini menerapkan *green arsitecture* secara menyeluruh yang dapat diperhatikan pada gambar 1 dan 2.



**Gambar 1.** Desain Rancangan Terminal *Eco-Airport*

Sumber: Data Olahan (2024)



**Gambar 2.** Denah Layout Lantai 1 dan Lantai 2 Terminal Keberangkatan dan Kedatangan

Sumber: Data Olahan (2024)

Pada tampilan gambar rancangan terminal *eco-airport* didesain dengan konsep arsitektur hijau yang memanfaatkan *solar cell* sebagai satu daya utama. Hal ini karena penggunaan *solar cell* memanfaatkan energi matahari yang dapat diakses gratis, melimpah dan berkelanjutan. Tujuannya adalah untuk meminimalisir dampak polusi, meningkatkan efisiensi *cost* dan mengurangi ketergantungan pemakaian listrik PLN sebagai sumber daya utama listrik (Soleh *et al.*, 2022). Selain itu, penggunaan energi terbarukan ini juga berfungsi untuk mendukung visi global untuk mengurangi emisi karbon dan mendukung *eco-airport* (Mulyani *et al.*, 2023b). Setelah melakukan analisis luas terminal dan fasilitas di dalamnya, peneliti melakukan perhitungan kebutuhan beban, *solar cell* dan baterai yang akan di terapkan di bandara *eco-airport* pada tabel 3.

**Tabel 3.** Data Kenutuhan Beban Terminal

No.	Fasilitas	Jumlah	Daya (Watt/Hours)	Waktu	Kebutuhan (Watt)
1	Pencahayaan	200	20	12	48.000
2	PC	7	80	12	6.720
3	Conveyor	2	15.000	12	360.000
4	Kipas Angin	20	15	12	3.600
5	Wi-fi	10	20	24	4.800
6	CCTV	20	24	24	11.520
7	LCD-FIDS	7	100	24	16.800
8	Speaker	8	250	12	24.000
9	X-ray	4	15.000	12	720.000
<b>Jumlah</b>					<b>1.195.440</b>

Sumber: Data Olahan (2024)

Setelah memperoleh kebutuhan beban sebesar 1.195.440 Watt pada terminal, penulis melakukan perhitungan agar jumlah solar panel yang dibutuhkan sesuai dengan perencanaan. Berikut ini merupakan perhitungan dalam memperoleh kebutuhan solar panel di bandara *eco-airport* :

Total Kebutuhan = Total *Daily Watt* : *Charging Effective*

Total Kebutuhan = 1.195.440 : 5

Total Kebutuhan = 239.088 Wattpeak (Wp)

Peneliti menggunakan *solar pannel type* 20 kWp yang notabene memiliki *energy production*  $\pm 27,30$  MWh. Berikut ini perhitungan total kebutuhan solar panel.

Total Solar Panel = 139.088 : 20.000

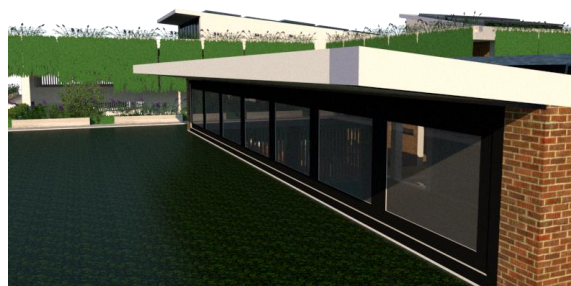
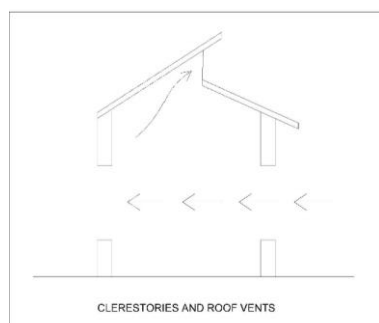
Total Solar Panel = 12 Panel



Gambar 3. Penerapan *Solar Cell* di Gedung Terminal

Sumber: Data Olahan (2024)

Melihat dari hasil perhitungan diatas, mendapatkan bahwa untuk menginstal PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dengan kebutuhan daya yang tertera dalam simulasi tersebut dibutuhkan 12 pcs Panel dengan baterai 12V 150 Ah sebanyak 665 unit solar panel 20kWp, inverter, *solar charge controller*, panel box dan pendukung lainnya. Dengan melakukan perhitungan ini kita dapat memperkiraan besar *cost* yang dibutuhkan dalam penerapannya di bandara *eco airport*.



Gambar 4. Ventilasi Pasif Tipe Clerestories dan Roof Vents berbasis Skylight

Sumber: Data Olahan (2024)

Dalam rancangan *eco-airport* desain, penulis juga menganalisis optimalisasi pencahayaan, sirkulasi dan air di gedung terminal bandara. Pada optimalisasi sistem pencahayaan di terminal bandara dipengaruhi oleh bentuk susunan atap yang disusun dengan tipe *skylight* dan ventilasi pasif tipe *clerestories*. Bentuk atap yang disusun dengan tipe *skylight* diatur dengan memperhitungkan arah terbit-terbenam matahari dan dibuat secara transparan berbahan dasar kaca agar mampu memberikan penyinaran secara langsung oleh matahari pada periode pagi hingga sore (Marzouk et al., 2022). Kemudian untuk ventilasi pasif tipe *clerestories* dibuat dengan metode ventilasi alami seperti pada Gambar 2 dimana sinar akan masuk melalui kaca luar ruang terminal dengan penempatan di atas arsitektur bangunan. Tujuannya agar cahaya dapat masuk ke ruangan terminal dengan mudah (Xue, Mak and Cheung, 2014). Pada bagian tengah terminal menggunakan kaca sebagai dinding pembatas. Kaca disini berfungsi sebagai media hantar untuk membiaskan cahaya yang masuk melalui *clerestories* dan *roof vent*, sehingga ruangan akan mendapatkan pencahayaan dengan baik. Dengan mengatur pencahayaan yang sedemikian rupa dengan menjaga estetika dan penyerapan media radiasi

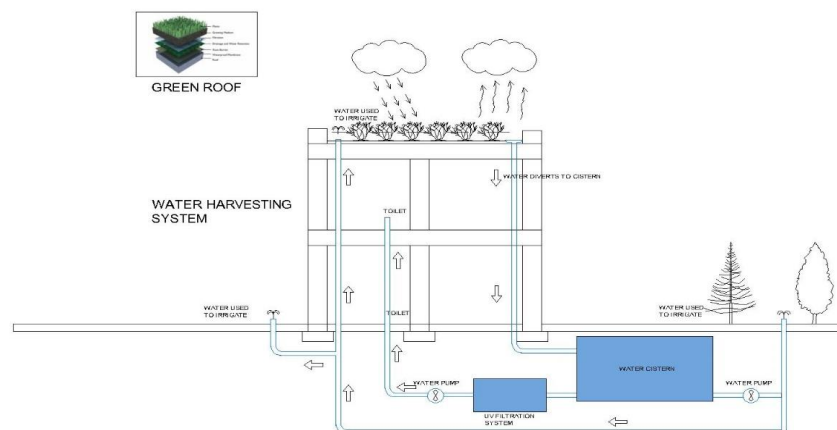
matahari melalui atap dan dinding terminal dengan penggunaan material ramah lingkungan dengan baik, harapannya dapat menerapkan konsep *eco airport* untuk memaksimalkan *cost* yang dikeluarkan bandar udara secara bijak (Ramdan et al., 2019).



Gambar 5. Penerapan *Green Roof* dan Taman di Terminal Bandara

Sumber: Data Olahan (2024)

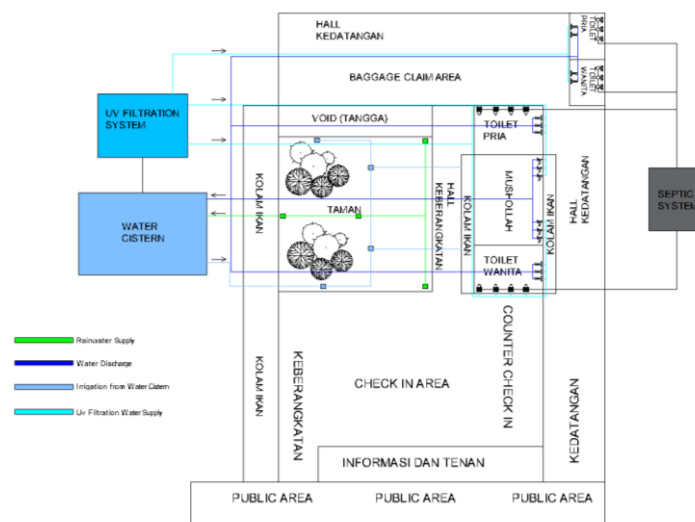
Selain pencahayaan, sirkulasi udara sangat perlu diperhitungkan pada bandara berbasis *eco-airport*. Peneliti menggunakan *roof vents*, ventilasi pasif tipe *clerestories*, dan *green roof* serta penerapan dinding pembatas kayu pada Gedung terminal agar sirkulasi udara terjalin dengan baik. Pada penggunaan *roof vents* dan ventilasi pasif tipe *clerestories* di atas bandara bertujuan untuk menjaga efektivitas aliran udara pada gedung terminal dan untuk mengatur suhu, kelembaman dan penumpukan panas berlebih pada terminal. Cara kerjanya dimana ventilasi *clerestories* akan ditempatkan diatas atap agar dapat mentransfer udara luar masuk ke terminal dan memanfaatkannya sebagai penyejuk ruangan. Udara segar yang masuk melalui ventilasi yang lebih rendah akan mengalami perpindahan kalor sehingga suhu ruangan yang panas akan secara alami keluar melalui *roof vents* (Arifin and Hidayat, 2018). Prinsip ini mirip seperti efek cerobong asap yang memanfaatkan perpindahan kalor dimana suhu udara yang bersuhu tinggi akan berpindah ke suhu udara yang lebih rendah. Kemudian di bagian atas terminal terdapat penerapan *green roof* yang akan ditanami beragam tanaman rambat dan gantung untuk meningkatkan estetika terminal dan menjaga kelembaman udara di bandara. Tujuan diterapkan *green roof* ini adalah untuk menyerap polutan hasil operasi bandara dan menukarnya menjadi oksigen dari hasil fotosintesis tanaman (Mihalakakou et al., 2023). Selain penerapan *green roof*, peneliti juga menerapkan taman di terminal dengan fungsi yang sama yaitu untuk menambah keteduhan, meningkatkan kenyamanan dan menurunkan suhu udara di bandara akibat peningkatan kadar oksigen yang dihasilkan tumbuhan sehingga membantu meminimalisir efek urban (Bamidele et al., 2023). Melihat pada Gambar 4 peneliti menggunakan kayu gelam sebagai dinding pembatas untuk memudahkan sirkulasi udara luar masuk ke terminal. Selain itu, pemilihan kayu gelam diterapkan sebagai dinding terminal karena memiliki kekuatan dan keawetan yang mempuni standar. Dengan menerapkan hal tersebut, maka pengunjung akan merasa nyaman dalam menunggu keberangkatan pesawat di terminal bandara.



Gambar 6. Penerapan *Water Harvesting System*

Sumber: Data Olahan (2024)

Pada pemanfaatan air bandara berbasis *eco-friendly airport* menggunakan proses *water harvesting system*. Sistem ini merupakan suatu 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 (Asim et al., 2021). Melihat desain Gambar 6 dan 7, peneliti mendesain dengan menganalisis berbagai kebermanfaatan sistem yang akan diterapkan di bandara yang menerapkan *eco-friendly airport*. Pemanfaatan dimulai dari air hujan yang dapat digunakan untuk menyiram tanaman yang terdapat di atap permukaan terminal (*green roof*) dan kelebihan air tersebut akan disalurkan melalui sistem *plumbing* dan akan ditampung pada unit penampungan air di bawah tanah. Air hujan yang berada di unit penampungan air bawah tanah dapat digunakan kembali sebagai media penyiraman tanaman di sekitar terminal bandara dan *green roof* ketika hujan tidak berlangsung di area ini. Selain digunakan sebagai penyiram tanaman, air yang ditampung dapat disalurkan menuju unit terpisah untuk dilakukan penyaringan air dengan menggunakan sinar ultraviolet untuk memurnikan air. Sistem filtrasi ini dikenal dengan *UV filtration system* (Ponce-Robles et al., 2023). Penggunaan sinar ultraviolet sebagai sterilisasi air sangat efektif untuk membunuh kuman. Sehingga air yang dihasilkan pada proses sterilisasi ini dapat digunakan sebagai air pakai dalam kebutuhan MCK (Mandi, Cuci, Kakus) di terminal bandara.



Gambar 7. *Water Building System*

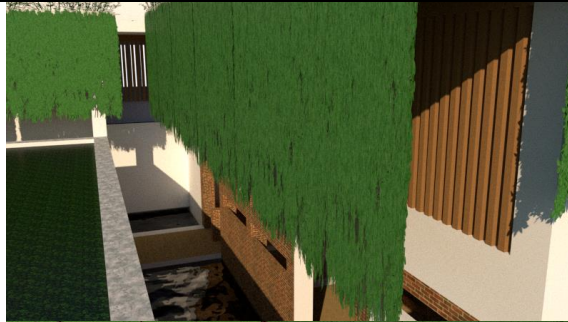
Sumber: Data Olahan (2024)

Dalam desain keseluruhan bandara berbasis *eco-airport* untuk optimalisasi sumber cahaya, udara dan air di terminal bandara dapat diperhatikan secara lebih detail pada table berikut :

Tabel 1. Posisi Tampak Desain *Eco-Airport*

Posisi Tampak	Gambar
Airside Garbaratha	

Kolam



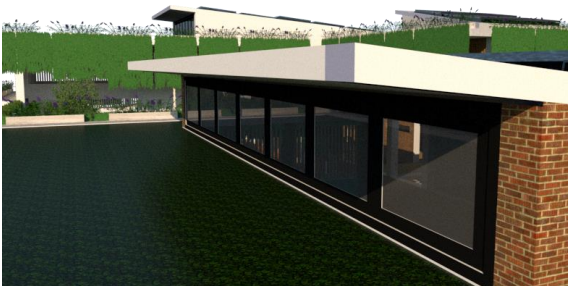
Taman



Taman Mini



Sistem Pencahayaan



Tampak Depan



Tampak Samping Kiri



Tampak Samping Kanan



Tampak Atas



---

Sumber: Data Olahan (2024)

Pada gambar detail diatas, penggunaan Cahaya dan udara alami dapat dimaksimalkan melalui desain dengan pendekatan ramah lingkungan.

### Pembahasan

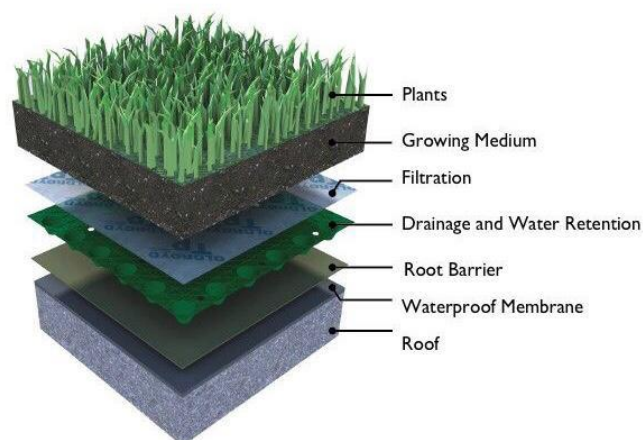
Indonesia merupakan negara yang berpotensi menerapkan *eco airport* karena memiliki musim kemarau dengan jangka waktu terpanjang dibanding negara eropa lainnya. Selain itu, di Indonesia masih banyak menggunakan energi fosil seperti batubara, gas dan minyak bumi dalam aktivitasnya. Dan energi tersebut semakin lama akan semakin berkurang ketersediaannya. Oleh karena itu, seluruh industry termasuk di bandar udara harus menerapkan sumber energi terbarukan dalam mewujudkan *net zero emission* di tahun 2024 (Gabrielli et al., 2023). Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Nomor : P5/PPI/SET/KUM I/12/2017 tentang “Pedoman Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Untuk Aksi Mitigasi Perubahan Iklim” Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit yang menggunakan tenaga surya yang tidak menghasilkan emisi GRK (Ariani and Winardi, 2014). Tingkat emisi yang ditimbulkan PLTS hampir sama dengan nol sehingga penurunan emisi karbon dicapai sama dengan emisi *baseline*. Dalam penerapan di dunia perbangan terkhusus di terminal, penulis merencanakan penggunaan energi *solar sell* sebagai media utama penghasil energi listrik sebagai upaya mengurangi ketergantungan dengan layanan listrik PLN sebagai energi utama dan genset sebagai *backup* energi listrik ketika terjadi pemadaman. Penerapan genset perlu dikurangi karena cenderung menghasilkan karbon akibat aktivitas operasionalnya. Oleh sebab itu peneliti menggunakan *solar cell* untuk mencapai tingkat efektifitas konsumsi energi di bandara. Penelitian ini menggunakan *solar cell* sebanyak 12 Panel 20 kWp yang notabene memiliki *energy production*  $\pm 27,30$  MWh dengan waktu charging efektif selama 5 jam per harinya. Dengan energi yang dihasilkan mampu membackup seluruh fasilitas yang ada di terminal hall kedatangan dengan

luas total 759,5 meter dan hall keberangkatan 781,4 meter. Untuk menyimpan ketersediaan energi tersebut, peneliti menggunakan baterai 12V 150 Ah sebanyak 665 unit. Ketika baterai terisi penuh dan listrik bandara terjadi pemadaman, maka energi listrik yang tersimpan dalam baterai dapat membackup bak genset bandara dalam memenuhi ketersediaan energi untuk giat operasional di terminal bandara. Dengan menerapkan hal ini sangat mampu menyongsong penerapan *eco-airport* sebagai penerapan energi berkelanjutan di *era society 5.0*.

Pada penerapan bandara *eco airport* akan mengimplementasikan *green roof*. *Green roof* merupakan penghijauan yang dilakukan di atas permukaan atap datar dan telah dilapisi *waterproofing* yang disusun dengan beberapa layer (Leite and Antunes, 2023). Metode *green roof* merupakan sebuah cara dalam mengurangi pemanasan bangunan terminal pada bandara berbasis *eco-airport*. Pembuatan *green roof* perlu dilakukan observasi untuk mengetahui kualitas atap, penyediaan lahan dan pemilihan tanaman. Peneliti telah melakukan observasi agar tanaman yang dipilih cocok diterapkan di atas terminal dalam meminimalisir emisi karbon akibat kegiatan operasional bandara. Penerapan *green roof* disusun dengan beberapa layer dengan fungsi sebagai berikut :

1. *Plants* (Tanaman). Tanaman hijau berperan dalam menyerap air hujan, mengurangi limpasan air dan meningkatkan kualitas udara di area terminal.
2. *Growing Medium* (Media Tanam). Media ini merupakan tempat tumbuhnya tanaman dan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan. Media ini juga sebagai penyimpan air serta penyaring polutan.
3. *Filtration* (Lapisan Filtrasi). Lapisan ini mampu menyaring partikel tanah dan mencegahnya masuk ke sistem drainase. Lapisan ini menjaga agar media tanam tetap bersih dan mengurangi resiko penyumbatan pada sistem drainase.
4. *Drainage and Water Retention* (Drainase dan Penahan Air). Lapisan drainase ini memastikan bahwa air berlebih dapat dialirkan dengan baik untuk mencegah genangan yang berlebih pada media tanam. Selain itu, lapisan ini memiliki kapasitas penahan air sehingga dapat digunakan kembali oleh tanaman selama periode kering.
5. *Root Barrier* (Penghalang Akar). Pada lapisan ini mencegah akar tanaman menembus ke lapisan bawah yang dapat merusak struktur atap. Penghalang akar sangat penting untuk menjaga integritas dari lapisan kedap air dan struktur atap secara keseluruhan.
6. *Waterproof Membrane* (Membran Kedap Air). Pada membrane ini mampu melindungi bangunan dari kebocoran dengan mencegah air menembus ke struktur atap. Lapisan ini memastikan bahwa air tidak merusak bahan bangunan di bawahnya.
7. *Roof* (Atap). Lapisan dasar yang menampung seluruh lapisan alinnya. Atap harus cukup kuat untuk menahan beban tambahan dari *green roof* termasuk tanah, tanaman dan air.

Dengan kombinasi lapisan ini, *green roof* dapat berfungsi secara efektif untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi efek rumah kaca dan memberikan manfaat ekologis dan estetika.



Gambar 8. Layering Green Roof

Sumber: Google (2024)

Jenis tanaman yang dipilih dalam penerapan *green roof* adalah tanaman yang tahan terhadap terpaan sinar matahari langsung. Selain itu, peneliti juga menghindari pemilihan tanaman yang mempunyai akar tunggang. Hal ini bertujuan untuk menjaga bagian atap terminal tidak rusak yang diakibatkan pertumbuhan akar tunggang pohon yang dipilih (Risdana et al., 2023). Dalam memberikan kesan estetik pada bagian *roof* terminal. Peneliti memilih menanam beragam rumput hias, mawar, melati, *bougainville* dan sebagainya. Tanaman berjenis ini penulis pilih karena tanaman selain sering berbunga, tubuh tanaman dapat dibentuk sedemikian rupa dalam mempercantik bagian atas terminal. Selain itu, peneliti juga mempertimbangkan jenis tanaman yang dapat ditanam di atas *roof* terminal. Jenis tersebut diantaranya memiliki ciri berbatang lunak, seperti : pandan kuning, lili paris, rulea dan masih banyak lagi. Dalam mempercantik di lingkungan atap terminal, peneliti juga akan menambahkan tanaman hias menjalar, seperti: *lee kuan yew*, dolar, bunga kuku macan dan sebagainya.

Pada gedung terminal bandara berbasis *eco airport* akan ditanami beberapa pohon untuk menambah kesejukan pengunjung bandara dan sebagai tempat alami untuk beristirahat dari hiruk pikuknya keributa akibat beban sensorik yang berlebihan (Juliano, 2022). Dengan beristirahat di terminal tunggu dengan konsep alam yang menyajikan kenyamanan ini dapat mengurangi stress, memulihkan kemampuan kognitif dan meningkatkan suasana hati pengunjung. Adapun taman di terminal ini akan ditanami beberapa jenis pohon seperti: palem hias, *agathis borneensis*, pohon *picus* dan *agathis robusta*. Dengan menerapkan hal tersebut mampu membuat kondisi unik dimana suhu dan kelembaban udara akan sedikit lebih dingin dibandingkan di luar bandara.

Dalam proses sirkulasi udara dan pencahayaan di ruang terminal bandara dengan *clerestories* dan *roof vents* di bandara berbasis *eco-friendly airport* sangat efektif dalam meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruang terminal. Pada *clerestories* memungkinkan cahaya matahari masuk ke ruang tanpa menyebabkan silau. Karena *clerestories* dibuat di lokasi dengan ketinggian tertentu membuat cahaya yang masuk ke ruangan mampu tersebar merata sehingga dapat mengurangi kebutuhan akan pencahayaan buatan di siang hari. *Clerestories* juga dapat dibuka sebagai media ventilasi udara sehingga sirkulasi udara di dalam terminal dapat terjaga. Kemudian *roof vents* merupakan ventilasi yang dipasang di atap terminal yang memungkinkan udara panas keluar dari ruang terminal. Pembuatan *roof vents* disusun dengan konsep perpindahan kalor agar udara panas yang terdapat di dalam terminal dapat menuju ke temperature udara yang lebih rendah. Sehingga kelembaban udara dan suhu ruangan tetap terjaga tanpa memerlukan banyak pendingin buatan. Di terminal bandara sebagai mekanis pendingin tambahan digunakan kipas gantung hasil dari konversi energi matahari melalui *solar cell*. Kipas gantung ini membantu menjaga suhu terminal untuk tetap terjaga dengan meminimalisir penggunaan AC di bandara yang menyumbang emisi karbon penyebab efek rumah kaca global. Efektivitas penerapan *roof vents* dan *clerestories* di bandara mampu meningkatkan kenyamanan penumpang, efisiensi energi, dan pengurangan emisi karbon dan ini sangat sesuai dengan konsep *eco-airport*.

Penggunaan kayu gelam sebagai media pembatas gedung terminal terhadap area luar bandara berbasis *eco-airport* dapat memberikan manfaat penting, selain dari segi lingkungan dapat dimanfaatkan untuk menambah estetika gedung terminal. Hal ini karena kayu gelam merupakan sumber daya yang dapat diperbarui yang mendukung prinsip keberlanjutan dan ramah lingkungan (Giri, 2022). Dan ini berbeda dengan bahan bangunan konvensional, seperti: beton dan baja yang lebih intensif energi. Alasan lain menerapkan kayu gelam diantaranya memiliki sifat insulasi alami yang lebih baik dibanding bahan bangunan lainnya. Sehingga mampu mengurangi emisi karbon dan menjaga kestabilan suhu udara di lingkungan terminal. Kemudian pemanfaatan kayu gelam memiliki daya tahan terhadap cuaca dan kelembaban dan sesuai diterapkan di lingkungan tropis (Suryaningsih and Awali, 2019). Dengan pemanfaatan kayu gelam pada desain *eco-airport* mampu memberikan banyak keuntungan dari segi lingkungan, ekonomi dan estetika. Dan hal ini sejalan dengan prinsip *eco airport* yang berfokus pada keberlanjutan dan efisiensi energi. Implementasi material alami seperti kayu gelam tidak hanya mendukung upaya perlindungan lingkungan tetapi dapat meningkatkan kualitas pengalaman para pengguna bandara.

Penerapan teknologi dan material ramah lingkungan di bandara berbasis *eco airport*, seperti: penggunaan *solar cell*, *green roof*, *clerestories*, *roof vents* dan kayu gelam dan water harvesting system sangat bermanfaat dalam segi efisiensi energi, pengurangan polusi yang ditimbulkan akibat kegiatan operasional penerbangan, peningkatan estetika dan kenyamanan bagi penumpang pesawat

yang sedang menunggu keberangkatan pesawat udara. Penerapan ini memiliki tantangan pada biaya awal dan pemeliharaan, namun dengan perencanaan yang matang dan implementasi yang telah disusun dengan matang akan memiliki dampak jangka panjang yang sangat signifikan. Penelitian ini berinisiatif untuk mendukung keberlanjutan dan menciptakan bandara yang lebih hijau dan efisien dalam dunia penerbangan.

## SIMPULAN

Pada penelitian ini desain diperuntukkan bagi bandara dengan kategori tersier atau melayani penumpang hingga satu juta per tahun. Desain ini merupakan desain bangunan terminal dengan pendekatan rancangan ramah lingkungan atau dikenal dengan eco airport. Berdasarkan hasil penelitian tersebut penggunaan sirkulasi udara secara alami dan cahaya alami dapat mengurangi penggunaan pendingin udara dan cahaya lampu. Sirkulasi udara dirancang dengan pendekatan susunan atap tipe *skylight* dan ventilasi pasif tipe *clerestories*. Sehingga, udara dapat disirkulasi dengan baik serta cahaya alami akan masuk. Penerapan green roof pada desain bandara ini bertujuan untuk menyerap polutan hasil operasi bandara dan menukarnya menjadi oksigen dari hasil fotosintesis tanaman. Pada pengolahan air menggunakan proses *water harvesting system*. Dimana, Sistem ini merupakan metode konservasi air tanah melalui penampungan dan pemanfaatan air hujan untuk memenuhi kebutuhan sanitasi. Penerapan sistem ini di terminal bandara sangat efektif untuk mengatasi permasalahan air bersih dan meningkatkan efisiensi terhadap pengelolaan air di bandara. Selain itu, penggunaan *sollar cell panel* sebagai energi terbarukan dan mengganti sebagian penggunaan listrik bersumber dari bahan bakar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, W.D. and Winardi, B. (2014) 'Analisis Kapasitas Dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara', *Transient*, 3(2).
- Arifin, I.N. and Hidayat, M.S. (2018) 'Pengaruh Bukaannya Terhadap Kinerja Terminal pada Masjid Jendral Sudirman', *Vitruvian Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*, 7(2).
- Asim, N. et al. (2021) 'Sorbet-based air water-harvesting systems: progress, limitation, and consideration', *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09558-6>.
- Bagheri, F. (2018) 'Performance investigation of atmospheric water harvesting systems', *Water Resources and Industry*, 20. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2018.08.001>.
- Bamidele, R.O. et al. (2023) 'Realizing Green Airport Performance through Green Management Intransigence, Airport Reputation, Biospheric Value, and Eco-Design', *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/su15032475>.
- Boca Santa, S.L. et al. (2020) 'A Green Airport model: Proposition based on social and environmental management systems', *Sustainable Cities and Society*, 59. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102160>.
- Cahyani, O.I. (2018) 'PENERAPAN KONSEP GREEN ARCHITECTURE PADA BANGUNAN PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS INDONESIA', *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 17(2). Available at: <https://doi.org/10.35760/dk.2018.v17i2.1946>.
- Fadli, M.R. (2021) 'Memahami desain metode penelitian kualitatif', *HUMANIKA*, 21(1). Available at: <https://doi.org/10.21831/hum.v21i1.38075>.
- Fajriati, D., Maringka, B. and Harjanto, S.T. (2018) 'Terminal Penumpang Bandar Udara Abdulrahman Saleh Malang Tema High-Tech', *Pengilon: Jurnal Arsitektur* [Preprint].
- Falah, R.M. and Maya Andria Nirawati (2024) *PENERAPAN ARSITEKTUR KONTEKSTUAL PADA PERANCANGAN BENTUK DAN TAMPILAN BANDARA DOMESTIK DI KARIMUNJAWA, Januari*. Available at: <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/index>.
- Fetni, Sudirman Baso and Anis Ribcalia Septiana (2023) 'ANALISIS KUALITAS LAYANAN PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM PADA PELAYANAN AIR BERSIH DI KECAMATAN TIRAWUTA KABUPATEN KOLAKA TIMUR', *Journal Publicuho*, 6(4). Available at: <https://doi.org/10.35817/publicuho.v6i4.293>.
- Gabrielli, P. et al. (2023) 'Net-zero emissions chemical industry in a world of limited resources', *One Earth*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.05.006>.

- Giri, K.R.P. (2022) 'Kajian Konsep Ambiguitas Ruang Peralihan Pada Kafe Kekinian di Denpasar dan Badung', *Waca Cipta Ruang*, 8(2). Available at: <https://doi.org/10.34010/wcr.v8i2.8300>.
- Jamin, S. et al. (2004) 'Aviation emissions and abatement policies in the United States: A city-pair analysis', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(4). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2004.03.001>.
- Juliano Tigana Otu (2022) 'EVALUASI KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU TERHADAP PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI KOTA KUPANG', *JURNAL WILAYAH, KOTA DAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN*, 1(2). Available at: <https://doi.org/10.58169/jwikal.v1i2.57>.
- Kania, D.D. (2022) 'Sektor Penerbangan Global dalam Isu Perubahan Iklim: Dampak dan Mitigasinya', *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 8(2). Available at: <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v8i2.713>.
- Leite, F.R. and Antunes, M.L.P. (2023) 'Green roof recent designs to runoff control: A review of building materials and plant species used in studies', *Ecological Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106924>.
- Magdalena, E.D. and Tondobala, L. (2016) 'IMPLEMENTASI KONSEP ZERO ENERGY BUILDING (ZEB) DARI PENDEKATAN ECO-FRIENDLY PADA RANCANGAN ARSITEKTUR', *MEDIA MATRASAIN*, 13(1), pp. 1–15.
- Marzouk, M., ElSharkawy, M. and Mahmoud, A. (2022) 'Optimizing daylight utilization of flat skylights in heritage buildings', *Journal of Advanced Research*, 37. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.06.005>.
- Mihalakakou, G. et al. (2023) 'Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113306>.
- Mulyani, S., Setiabudi, D.H. and Prihandoko, D. (2023a) 'KAJIAN POTENSI ECO-AIRPORT UNTUK BANDARA SULTAN ISKANDAR MUDA', *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), pp. 97–103. Available at: <https://journal.ity.ac.id/index.php/JRL/article/view/209> (Accessed: 26 February 2024).
- Mulyani, S., Setiabudi, D.H. and Prihandoko, D. (2023b) 'KAJIAN POTENSI ECO-AIRPORT UNTUK BANDARA SULTAN ISKANDAR MUDA', *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), pp. 97–103. Available at: <https://journal.ity.ac.id/index.php/JRL/article/view/209> (Accessed: 26 February 2024).
- Nahar, F. (2013) 'Analisa Perbandingan Penerapan Airport Sustainability di Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta dan Bandar Udara Internasional Schiphol', *WARTA ARDHIA*, 39(4). Available at: <https://doi.org/10.25104/wa.v39i4.125.281-293>.
- Ponce-Robles, L. et al. (2023) 'Integrated full-scale solar CPC/UV-LED-filtration system as a tertiary treatment in a conventional WWTP for agricultural reuse purposes', *Photochemical and Photobiological Sciences*, 22(3). Available at: <https://doi.org/10.1007/s43630-022-00342-9>.
- Purnomo, A.D., Amelia, K.P. and Dirayati, S. (2020) 'Penerapan Elemen Estetik Sebagai Identitas Budaya Lokal Pada Elemen Interior Terminal Penumpang B IJB Kertajati', *Waca Cipta Ruang*, 6(1). Available at: <https://doi.org/10.34010/wcr.v6i1.4194>.
- Raffah, A.M. (2021) 'Analisis Penerapan Konsep Eco Green Airport Dalam Menangani Pencemaran Air Limbah Di Bandara Internasional Husein Sastranegara Bandung', *Manners*, 4(1).
- Ramdan, B.M., Widyawati, K. and ... (2019) 'PERANCANGAN TERMINAL BANDAR UDARA SUKABUMI DENGAN PENDEKATAN ARSITEKTUR RAMAH LINGKUNGAN', *Komunitas dan Kota ...* [Preprint].
- Risdana, F., Munir, A. and Ariatsyah, A. (2023) 'Kinerja Termal Green Roof dengan Penggunaan Tanaman Hidroponik', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Arsitektur dan Perencanaan*, 6(4). Available at: <https://doi.org/10.24815/jimap.v6i4.21761>.
- Soleh, A.M. et al. (2022) 'Solar Cell Installation Training as an environmentally friendly energy alternative for the community around the airport', *Darmabakti: Jurnal Inovasi Pengabdian dalam Penerbangan*, 3(1). Available at: <https://doi.org/10.52989/darmabakti.v3i1.65>.
- Suryaningsih, A. and Awali, J. (2019) *POTENSI PEMANFAATAN KAYU GELAM DAN KAYU SENGON DALAM DUNIA KONSTRUKSI BERDASARKAN UJI KUAT LENTUR*.

- Tabaru, M.Y. and Rumapea, P. (2016) 'Fungsi Pengawasan Terhadap Keselamatan Penerbangan Bandara Udara (Studi Di Bandara Udara Kuabang Kao. Kab. Halmahera Utara)', *Jurnal Administrasi ...* [Preprint].
- Wicaksono, A., Maulana, S. and Saraswaty, R. (2019) 'Perancangan Pusat Perbelanjaan Dengan Tema Green Architecture di Kota Medan', *Journal of Architecture and Urbanism Research*, 2(2).
- Wiriani, L. and Sukada, B.A. (2022) 'KANTOR SEWA DAN CO-WORKING DENGAN PEMANFAATAN TAMAN ENERGI TERBARUKAN', *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2). Available at: <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12774>.
- Xue, P., Mak, C.M. and Cheung, H.D. (2014) 'New static lightshelf system design of clerestory windows for Hong Kong', *Building and Environment*, 72. Available at: <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. Available at: <https://doi.org/10.28989/senatik.v2i0.40>.
- ADDIN Mendeley Bibliography CSL\_BIBLIOGRAPHY