
FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI *OPTIMIZATION ENERGY SAVING IN LARGE AIRPORT TERMINAL: HVAC TECHNOLOGY, ECO AIRPORT SYSTEM DAN ENERGY MANAGEMENT AND CONTROL*

**Nabilah Hasna Arinda, Anas Syahra Putra, Direstu Amalia, M. Indra
Martadinata, Sunardi**

Politeknik Penerbangan Palembang Jl. Adi Sucipto No.3012, Palembang 30961

E-mail correspondence: nabilahhasna16@gmail.com

Abstrak

Peningkatan operasional bandara menyebabkan tingginya konsumsi energi, sehingga optimalisasi penghematan energi di terminal bandara besar sangat diperlukan. Banyak penelitian sebelumnya membahas inovasi penghematan energi di bangunan komersial seperti perkantoran dan perumahan, dengan variabel yang berbeda. Artikel ini bertujuan membangun hipotesis pengaruh teknologi HVAC, sistem eco airport, serta manajemen dan kontrol energi terhadap optimalisasi penghematan energi di terminal bandara besar. Studi literatur terkait menunjukkan bahwa ketiga faktor ini, yaitu HVAC technology, eco airport system, dan energy management and control, memiliki pengaruh signifikan dalam mengoptimalkan penghematan energi di bandara besar. Selain itu, pemanfaatan teknologi yang efisien ini diharapkan dapat mengurangi emisi karbon dan mendukung keberlanjutan operasional bandara. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak jangka panjang dan efisiensi biaya dari penerapan teknologi-teknologi tersebut.

Kata Kunci: *Optimization Energy Saving in Large Airport Terminal; HVAC Technology; Eco Airport System; Energy Management and Control*

Abstract

The increasing operational activities of airports lead to high energy consumption, making it necessary to optimize energy savings in large airport terminals. Many previous studies have discussed energy-saving innovations in commercial buildings, such as offices and residential areas, with different variables. This article aims to build a hypothesis on the influence of HVAC technology, eco airport systems, and energy management and control on optimizing energy savings in large airport terminals. Relevant literature studies indicate that these three factors—HVAC technology, eco airport systems, and energy management and control—have a significant impact on optimizing energy savings in large airports. Moreover, the efficient use of these technologies is expected to reduce carbon emissions and support sustainable airport operations. Further research is needed to understand the long-term impact and cost efficiency of implementing these technologies.

Keywords: *Optimization Energy Saving in Large Airport Terminal; HVAC Technology; Eco Airport System; Energy Management and Control*

PENDAHULUAN

Tuntutan efisiensi ventilasi disaat kebutuhan operasional yang cukup tinggi, mengakibatkan konsumsi energi yang signifikan pada sistem HVAC dapat

terjadi, membuat hal tersebut menjadi alasan penting diperlukannya proses *optimization energy saving in large airport terminal* (Akyüz et al., 2017; Kareem et al., 2021; Tang, Yu, & Lin, 2023). Hal tersebut penting karena dapat mengurangi pengeluaran, meningkatkan profitabilitas dan sebagai bentuk tanggung jawab pihak bandara untuk dapat beroperasi secara lebih efisien serta berkelanjutan dalam jangka panjang. Penelitian sebelumnya telah membahas penerapan strategi penggunaan sistem HVAC yang lebih baik seperti ventilasi yang dikendalikan permintaan (*demand response*) berbasis CO₂ dan isolasi termal. Hasil menunjukkan bahwa langkah tersebut berdampak positif terhadap ekonomi dan lingkungan, berupa pengurangan substansial dalam konsumsi energi, biaya operasi, dan penggunaan energi permintaan puncak (Akyüz et al., 2017; Tang, Yu, & Lin, 2023). Selain itu, memanfaatkan teknologi modern seperti *Building Information Modeling* (BIM) dapat memberikan wawasan tentang kinerja energi, sehingga memungkinkan identifikasi strategi optimal untuk efisiensi energi dan efektivitas biaya dalam operasional bandar udara (Ali et al., 2022). Dengan merancang pengontrol khusus berdasarkan aliran hunian dan kondisi lingkungan, penghematan energi yang signifikan dapat dicapai disaat menjaga kenyamanan penumpang di gedung terminal bandara besar (Mambo et al., 2015). Oleh karena itu, terdapat banyak faktor yang mempengaruhi proses *optimization energy saving in large airport terminal* agar terciptanya sistem operasi berkelanjutan, pengurangan biaya arena penghematan energi, dan mitigasi dampak lingkungan.

Sejatinya, telah terdapat studi literatur yang membahas teori *energy saving*. Namun, sebagian besar penelitian ini masih membahas dengan faktor yang berbeda dan difokuskan pada bangunan umum seperti perkantoran, perumahan, dan fasilitas komersial lainnya (Ding & Chen, 2021). Implementasi strategi penghematan energi di sektor-sektor ini telah memberikan wawasan berharga tentang beberapa langkah dalam rangka meminimalisir konsumsi energi serta memaksimalkan efisiensi operasional. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, penulis memutuskan untuk membuat sebuah studi *literature review* dalam bidang *eco airport* yang bertujuan untuk membahas pengaruh HVAC *technology, eco airport*

system dan *energy management and control* sebagai faktor pengembangan yang mempengaruhi *optimization energy saving in large airport terminal*. Dalam konteks ini, teknologi HVAC mencakup inovasi kecanggihan teknologi yang lebih efisien dan cerdas karena dapat memantau dan mengontrol secara *real time*. Kemudian, *eco airport system* yang melibatkan berbagai inisiatif untuk mengurangi dampak lingkungan bandara, mulai dari penggunaan energi terbarukan hingga pengelolaan hasil akhir yang lebih baik. Sementara itu, *energy management and control* yang mencakup manajemen praktik pengoperasian yang efektif dan terbaik. Maka dari itu, adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi teori penguat pada penelitian di masa mendatang sehingga dapat mendukung inisiatif keberlanjutan dengan cara mengidentifikasi peluang untuk mengurangi konsumsi energi tanpa melanggar regulasi yang berlaku sehingga dapat mengoptimalkan efisiensi operasional serta mengurangi anggaran yang tinggi. Dengan cara mengimplementasikan praktik-praktik terbaik yang ditemukan dalam literatur. Melalui identifikasi dan implementasi strategi ini, bandara di seluruh dunia dapat berkontribusi pada peningkatan sistem hemat energi, menjaga kelestarian lingkungan, sekaligus memastikan operasional yang lebih efisien dan ekonomis.

METODE

Metode kualitatif dan kajian pustaka (*library research*) menjadi pilihan metode penulisan dalam artikel ilmiah ini. Penulisan dimulai dari menelaah dan mengkaji setiap teori dan relasi atau pengaruh tiap variabel baik bersumberkan dari beberapa buku dan jurnal yang diakses secara *offline* di perpustakaan, maupun secara *online* dengan menggunakan Mendeley, Scholar Google dan media *online* lainnya.

Pembuatan beberapa asumsi metodologis dalam penelitian kualitatif harus menggunakan kajian pustaka secara konsisten. Hal ini memiliki makna bahwa kajian tersebut harus digunakan secara induktif agar tidak mengarahkan pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh peneliti. Penelitian yang bersifat eksploratif dan dijadikan prosedur penelitian dengan menggunakan data

deskriptif berupa tulisan dari sumber yang menjelaskan dan menganalisis sesuai subjek yang dituju, merupakan alasan utama penelitian kualitatif ini dilakukan (Husnawati et al., 2022).

KAJIAN TEORI

Optimization energy saving in large airport terminal

Optimization energy saving in large airport terminal adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk mengoptimalkan pengoperasian sistem peralatan utama dan mengurangi konsumsi energi dari sistem pengoperasian alat tersebut sehingga secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya pengeluaran terminal bandara (Yang et al., 2023). Dimensi atau indikator *optimization energy saving in large airport terminal* adalah skala bangunan, arus penumpang harian, parameter cuaca luar, dan tingkat konsumsi listrik harian terminal terhadap konsumsi energi di terminal bandar udara besar (Yang et al., 2023).

Optimization energy saving in large airport terminal adalah suatu proses peningkatan penggunaan energi secara efisien dengan cara memperkirakan potensi penghematan energi setelah menganalisis komponen yang kehilangan panas di terminal bandara sehingga dapat membantu mengungkapkan secara mendasar permintaan aktual untuk pemanas ruangan yang ada. Untuk bangunan non-perumahan dengan pemanasan ruang terus menerus, keseimbangan panas dalam ruangan dapat dinyatakan sebagai persamaan dan perolehan panas mencakup panas yang disuplai oleh sistem HVAC, panas yang dihasilkan oleh lampu dan peralatan dalam ruangan, dan panas yang dihasilkan oleh penghuni dalam ruangan (Liu et al., 2021). Dimensi atau indikator *optimization energy saving in large airport terminal* adalah adanya pengurangan infiltrasi udara. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dengan mengurangi infiltrasi udara dapat membuat hal tersebut menjadi pendekatan yang efektif untuk mencapai tujuan "zero energy for space heating" di terminal bandar udara (Liu et al., 2021).

Optimization energy saving in large airport terminal adalah salah satu aspek kunci yang bertujuan mengoptimalkan efisiensi energi dengan cara memahami

karakteristik konsumsi listrik di terminal bandara. Banyak penelitian telah mengusulkan berbagai strategi, seperti analisis lingkungan termal yang melakukan pengukuran di lokasi untuk menganalisis dan mengoptimalkan lingkungan termal ruangan besar, seperti terminal bandara (Hu et al., 2022). Dimensi atau indikator *optimization energy saving in large airport terminal* adalah meningkatnya konsumsi perjalanan dan listrik di bandara, sehingga mereka menerapkan sistem yang fleksibel dengan kemampuan untuk mendukung pengukuran mikro (Hu et al., 2022). *Optimization energy saving in large airport terminal* telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu, di antaranya adalah (K. Huang et al., 2023; Song et al., 2022; Yang et al., 2024).

HVAC Technology

HVAC *technology* adalah peralatan HVAC yang penting untuk menjaga lingkungan dalam ruangan yang nyaman dan sehat sekaligus mengurangi konsumsi energi serta dampak negative bagi lingkungan (Luo, 2023b). Dimensi atau indikator HVAC *technology* adalah berupa pengembangan dan integrasi teknologi inovatif, seperti kontrol prediktif model (MPC), linearisasi umpan balik jaringan saraf, dan sistem penyimpanan energi, dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem HVAC (Luo, 2023b).

HVAC *technology* adalah suatu inovasi yang dapat meningkatkan efisiensi energi karena dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya sehingga teknologi dan desain yang inovatif dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya dengan tetap menjaga lingkungan dalam ruangan yang nyaman (M. Kareem et al., 2021). Dimensi atau indikator HVAC *technology* adalah berupa *energy-consuming, on indoor air quality and building air temperature* (M. Kareem et al., 2021).

HVAC *technology* adalah sistem telah menjadi bagian integral dari bangunan modern dan dirancang untuk menyediakan lingkungan dalam ruangan yang nyaman sekaligus menghemat energi dan mengurangi emisi karbon dengan berbagai sensor yang digunakan untuk mendeteksi penghuni dalam lingkungan yang terkendali sehingga dapat membuat sistem HVAC menjadi lebih canggih,

memungkinkan untuk perkiraan kontrol suhu dan manajemen energi (Mckoy et al., 2023). Dimensi atau indikator *HVAC technology* adalah penggunaan sistem deep learning berupa *raspberry Pi cameras* dan *IR cameras* untuk mengontrol *butterfly valves*, memungkinkan sebuah *intelligent and responsive HVAC control system* (Mckoy et al., 2023). *HVAC technology* telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu, yaitu seperti (Balbis-Morejón et al., 2023; Luo, 2023a; Pan, 2023).

Eco Airport System

Eco airport system adalah suatu pengimplementasian konsep bandara dengan tujuan untuk menciptakan tempat yang sehat dan ramah lingkungan (Sari et al., 2018). Dimensi atau indikator *eco airport system* adalah terjadinya penanaman pohon, penggunaan bahan bangunan ramah lingkungan, pengurangan penggunaan kaca guna menghindari dampak global, menghimbau maskapai penerbangan untuk menggunakan pesawat jenis baru, budidaya mobil di area apron dengan menggunakan biofuel, serta mengalihkan operasi jangka panjang dengan sel bertenaga sury, hal ini juga dapat menurunkan biaya operasional bandara (Sari et al., 2018).

Eco airport system adalah bentuk implementasi pada suatu bandara yang telah mengalami pengukuran dan perhitungan yang terstruktur terhadap beberapa aspek yang berpotensi sebagai penyebab dampak baik dan buruk bagi lingkungan sehingga ke depannya dapat menciptakan keadaan yang lebih ramah lingkungan (I Komang Yasa Pastika & Dr. Ir. Putu Gde Ery Suardana, M.Erg., 2021). Dimensi atau indikator *eco airport system* adalah pemanfaatan listrik sebagai sumber energi suatu kendaraan, penggunaan energi alami, pengelolaan air hujan, dan limbah, serta penghijauan berupa penanaman pohon (I Komang Yasa Pastika & Dr. Ir. Putu Gde Ery Suardana, M.Erg., 2021).

Eco airport system adalah pengimplementasian suatu konsep di bandara dengan tujuan untuk memperkuat reputasi bandara dan kesejahteraan subjektif konsumen bandara (Bamidele et al., 2023). Dimensi atau indikator *eco airport system* adalah adanya *eco-design* di suatu bandara (Bamidele et al., 2023).

Eco airport system telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu, yaitu seperti (Faizah et al., 2021; Mulyanda et al., 2022; Piao et al., 2021).

Energy Management and Control

Energy management and control adalah suatu sistem yang digunakan *microgrid* untuk memastikan pengoperasian yang efektif dari *Distributed Energy Resources* (DER) (Ahmad et al., 2023). Dimensi atau indikator *energy management and control* adalah biaya operasional harian *microgrid*, degradasi penyimpanan energi, pendapatan melalui perdagangan dengan jaringan atau pihak lain, dan tingkat emisi *Greenhouse Gas* (GHG) (Ahmad et al., 2023).

Energy management and control adalah fitur penting dari *microgrid* yang memiliki kemampuan untuk dikontrol dan berperan sebagai modul yang telah terkoordinasi ketika terhubung ke sistem distribusi listrik sehingga *microgrid* tersebut dapat mencapai tujuan seperti pengoptimalisasian suatu manajemen pemanasan (Chaudhary et al., 2021). Dimensi atau indikator *energy management and control* adalah penggunaan *microgrid controllers* yang tepat (Chaudhary et al., 2021).

Energy management and control adalah penghubung tiap peralatan yang membutuhkan manajemen yang terampil agar mencapai operasi yang efisien melalui konsumsi yang terkendali dengan menyesuaikan jadwal untuk muatan dan kasus yang berbeda seperti pada peralatan HVAC System (Escrivá-Escrivá et al., 2010). Dimensi atau indikator *energy management and control* adalah integrasi antara *Energy Storage Systems* (ESSs) dan data konsumsi daya (Escrivá-Escrivá et al., 2010). *Energy management and control* telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu yaitu seperti (Abouobaida et al., 2023; Alhasnawi et al., 2020; Yan et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan kajian teori dan penelitian terdahulu yang relevan maka pembahasan artikel *literature review* ini dalam konsentrasi *eco airport system* adalah:

- 1. Pengaruh HVAC Technology terhadap Optimization Energy Saving in Large Airport Terminal**

HVAC *technology* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport Terminal*, dimana dimensi atau indikator HVAC *technology* seperti pengembangan dan integrasi teknologi inovatif, dengan contoh kontrol prediktif model (MPC), linearisasi umpan balik jaringan saraf, dan sistem penyimpanan energi. Tidak hanya itu, terdapat indikator lainnya, yaitu *energy-consuming, on indoor air quality and building air temperature*, penggunaan sistem *deep learning* berupa *raspberry Pi cameras* dan *IR cameras* untuk mengontrol *butterfly valves*, serta sebuah *intelligent and responsive HVAC control system* yang berpengaruh terhadap dimensi atau indikator dari *optimization energy saving in large airport terminal* yang terdapat pada penelitian (Balbis-Morejón et al., 2023; Luo, 2023a; Pan, 2023), dimana ditentukan oleh lingkungan dan besar sumber energi yang digunakan sebelumnya (Lin et al., 2019).

Optimization energy saving in large airport terminal dapat direalisasikan dengan cara memperhatikan HVAC *technology*, sehingga langkah selanjutnya oleh pihak manajemen adalah mengimplementasikan suatu *energy-oriented control retrofit* untuk sistem HVAC dimana dapat dengan mengadopsi *data-driven Model Predictive Control (MPC) methodology* sehingga bandara dapat memaksimalkan penghematan penggunaan energi (Yue et al., 2023).

HVAC *technology* berpengaruh terhadap *optimalization energy saving in large airport terminal*, apabila HVAC *technology* dipersepsikan baik oleh para pengguna, sehingga hal tersebut dapat meningkatkan kualitas proses berupa *real time monitoring* yang lebih efektif dan efisien pada saat *optimization energy saving in large airport terminal* (Zanni et al., 2018). HVAC *technology* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport Terminal*, ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Balbis-Morejón et al., 2023; Luo, 2023a; Pan, 2023).

2. Pengaruh Eco Airport System terhadap Optimization Energy Saving in Large Airport Terminal

Eco airport system berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*, dimana dimensi atau indikator *eco airport system* berupa terjadinya penanaman pohon, penggunaan bahan bangunan ramah lingkungan,

pengurangan penggunaan kaca guna menghindari dampak global, menghimbau maskapai penerbangan untuk menggunakan pesawat jenis baru, budidaya mobil di area apron dengan menggunakan biofuel, mengalihkan operasi jangka panjang dengan sel bertenaga surya, adalah pemanfaatan listrik sebagai sumber energi suatu kendaraan, penggunaan energi alami, pengelolaan air hujan dan limbah, serta diterapkannya *eco-design* di suatu bandara, akan berpengaruh terhadap dimensi atau indikator *optimization energy saving in large airport terminal* pada penelitian (Faizah et al., 2021; Mulyanda et al., 2022; Piao et al., 2021), dimana ditentukan oleh *eco design* suatu bandara (Minja & Mushi, 2023).

Proses peningkatan *optimization energy saving in large airport terminal* dapat dilakukan dengan memperhatikan *eco airport system*, sehingga langkah selanjutnya dari pihak manajemen adalah menentukan apakah di bandara tersebut telah mengimplementasikan konsep *eco airport*, dimana hal tersebut dapat berupa *eco design* yang menjadi cukup krusial pada penentuan langkah selanjutnya (Abdel-Gayed et al., 2023).

Eco airport system berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*, apabila *eco airport system* dipersepsikan baik oleh pelanggan ataupun konsumen, maka ini akan dapat meningkatkan kualitas dalam proses *optimization energy saving in large airport terminal* (Korba et al., 2023). *Eco airport system* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*, ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh (Faizah et al., 2021; Mulyanda et al., 2022; Piao et al., 2021).

3. Pengaruh *Energy Management and Control* terhadap *Optimization Energy Saving in Large Airport Terminal*

Energy management and control berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*, dimana dimensi atau indikator *energy management and control* berupa biaya operasional harian *microgrid*, degradasi penyimpanan energi, pendapatan melalui perdagangan dengan jaringan atau pihak lain, tingkat emisi *Greenhouse Gas* (GHG), penggunaan *microgrid controllers* yang tepat, integrasi antara *Energy Storage Systems* (ESSs) dan data konsumsi daya, akan berpengaruh

terhadap dimensi atau indikator *optimization energy saving in large airport terminal* yang telah banyak dibahas di penelitian sebelumnya (Abouobaida et al., 2023; Alhasnawi et al., 2020; Yan et al., 2022), berdasarkan integrasi teknologi dan sistem yang telah digunakan (H. Huang et al., 2014).

Proses implementasi *optimization energy saving in large airport terminal* dapat dilakukan dengan memperhatikan *energy management and control*, maka solusi yang dapat dilaksanakan oleh pihak manajemen adalah menentukan tingkat keefektifan dari sistem kontrol dan manajemen yang telah digunakan bandara, dimana efisiensi *building system* menjadi hal yang krusial untuk analisa yang akan dilakukan (Perekrest et al., 2022).

Energy management and control berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*, apabila *energy management and control* dipersepsikan baik para pengguna, maka ini akan dapat meningkatkan kualitas sistem manajemen energi pada proses *optimization energy saving in large airport terminal*, sesuai dengan strategi sistem yang digunakan sehingga bandara yang lebih hemat energi dapat terwujud (Shafei et al., 2020). *Energy management and control* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*, ini selaras dengan penelitian terdahulu yaitu (Abouobaida et al., 2023; Alhasnawi et al., 2020; Yan et al., 2022). Selain itu, berikut terdapat penelitian relevan lainnya yang telah dilakukan sebelumnya:

Tabel 1. Penelitian terdahulu yang relevan

No	Author (tahun)	Hasil Riset terdahulu	Persamaan dengan artikel ini	Perbedaan dengan artikel ini
1	(Khosravi et al., 2024)	Penelitian ini menggunakan <i>Model Predictive Control</i> (MPC) dalam pengelolaan energi bangunan dengan mempertimbangkan kenyamanan termal dan visual sehingga dapat menciptakan suatu sistem <i>eco airport</i> . Data yang digunakan dari unit SolAce di NEST dengan menghasilkan kenyamanan visual yang didefinisikan menggunakan indeks <i>Daylight</i>	Terdapatnya penggunaan teknologi di sistem pemanas, ventilasi, dan AC (HVAC) dalam pengelolaan energi dengan menggunakan teknik manajemen dan kontrol energi agar tercapai tujuan berupa penghematan energi yang lebih optimal. Jadi, HVAC <i>technology</i> , <i>eco airport system</i> dan <i>energy</i>	-

		<p><i>Glare Probability</i> (DGP), yang merupakan metrik kompleks yang membutuhkan perangkat pengukuran optik khusus.</p> <p>Jadi, dapat disimpulkan bahwa <i>HVAC technology, eco airport system</i> dan <i>energy management and control</i> berpengaruh positif dan signifikan terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	<p><i>management and control</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	
2	(Dhanalakshmi et al., 2020)	<p>Penelitian ini membahas sistem kontrol HVAC berbasis IoT yang menggunakan Blynk API untuk memonitor data sensor secara real-time. Selain itu, penelitian ini dirancang untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan dan mengelola energi secara cerdas serta didapatkan hasil penghematan energi sebesar 0.9 kWh dan peningkatan kenyamanan termal pengguna.</p> <p><i>HVAC technology</i> dan <i>energy management and control</i> berpengaruh positif dan signifikan terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	<p>Membahas penggunaan teknologi HVAC untuk mengoptimalkan penggunaan energi sehingga dapat disimpulkan bahwa <i>HVAC technology</i> dan <i>energy management and control</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	-
3	(Tang et al., 2023)	<p>Penelitian ini membahas strategi ventilasi menggunakan konsentrasi CO₂ sebagai indikator kebutuhan ventilasi untuk mengatur aliran udara luar atau CO₂-based <i>Demand-controlled Ventilation</i> (DCV). Selain itu, terdapat solusi lainnya yang memungkinkan penyesuaian beban ventilasi berdasarkan tarif waktu penggunaan (ToU) dan sinyal respon permintaan (DR) untuk mengurangi biaya operasional dan konsumsi energi puncak.</p> <p><i>Eco airport system, energy management and control, Good Demand-Controlled Ventilation</i> (DCV) <i>control strategies</i></p>	<p>Kedua penelitian membahas teknik manajemen energi dalam penggunaan sistem HVAC agar dapat mengontrol dan menghemat energi sehingga dapat disimpulkan bahwa <i>eco airport system</i> dan <i>energy management and control</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	<p><i>Good Demand-Controlled Ventilation</i> (DCV) <i>control strategies</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>

		berpengaruh positif dan signifikan terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i> .		
4	(Mulyani et al., 2023)	Penelitian ini membahas tentang penerapan konsep <i>eco airport</i> di Bandara Kulon Progo, Yogyakarta, yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi dan emisi CO ₂ melalui integrasi komunitas dan lingkungan yang berkelanjutan dengan menggunakan simulasi UMI (<i>Urban Modeling Interface</i>) sehingga data alur mobilitas penumpang sangat dibutuhkan. Jadi, <i>HVAC technology, eco airport system</i> dan <i>good passenger flow patterns</i> berpengaruh positif dan signifikan terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i> .	<i>HVAC technology, eco airport system</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i> .	<i>Good passenger flow patterns</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i> .
5	(Yang et al., 2023)	Penelitian ini membahas karakteristik konsumsi listrik menggunakan Analisis <i>K-means Clustering</i> dan model prediksi dengan menganalisis data konsumsi listrik dari Januari 2020 hingga Februari 2023, serta data aliran penumpang dan parameter meteorologi luar ruangan, seperti suhu udara luar, di terminal bandara besar di Beijing agar dapat mengembangkan model prediksi yang akurat untuk mengoptimalkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya operasional bandara. <i>Good passenger flow patterns, indoor environmental quality dan low electricity consumption</i> berpengaruh positif dan signifikan terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i> .	Berfokus pada penghematan energi di bandara.	<i>Good passenger flow patterns, indoor environmental quality & low electricity consumption</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i> .
6	(Raimundo et al., 2023)	Penelitian ini menyoroti tantangan global keberlanjutan yang mempengaruhi industri	<i>Eco airport system</i> berpengaruh terhadap	<i>Airport operation with</i>

		<p>penerbangan dan bagaimana bandara beradaptasi dengan tekanan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Tinjauan ini mencakup strategi manajemen energi, minimalisir emisi gas rumah kaca, manajemen kualitas udara, pemberdayaan kualitas air, dan pengelolaan limbah di bandara agar dapat menciptakan bandara yang lebih hemat energi.</p> <p>Jadi, <i>eco airport system</i> dan <i>airport operation with environmental sustainability</i> berpengaruh positif dan signifikan terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	<p><i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>	<p><i>environmental sustainability</i> berpengaruh terhadap <i>optimization energy saving in large airport terminal</i>.</p>
--	--	---	---	--

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan teori, artikel yang relevan dan pembahasan maka dapat dirumuskan hipotesis untuk riset selanjutnya *HVAC technology* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*. *Eco airport system* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*. *Energy management and control* berpengaruh terhadap *optimization energy saving in large airport terminal*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Gayed, A. H., Hassan, T. H., Abdou, A. H., Abdelmoaty, M. A., Saleh, M. I., & Salem, A. E. (2023). Travelers' Subjective Well-Being as an Environmental Practice: Do Airport Buildings' Eco-Design, Brand Engagement, and Brand Experience Matter? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph20020938>
- Abouobaida, H., de Oliveira-Assis, L., Soares-Ramos, E. P. P., Mahmoudi, H., Guerrero, J. M., & Jamil, M. (2023). Energy management and control strategy of DC microgrid based hybrid storage system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2023.102726>
- Ahmad, S., Shafiullah, M., Ahmed, C. B., & Alowafeer, M. (2023). A Review of Microgrid Energy Management and Control Strategies. In *IEEE Access* (Vol. 11). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3248511>
- Akyüz, M. K., Altuntaş, Ö., & Söğüt, M. Z. (2017). Economic and environmental optimization of an airport terminal building's wall and roof insulation. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/su9101849>

- Alhasnawi, B. N., Jasim, B. H., & Esteban, M. D. (2020). A new robust energy management and control strategy for a hybrid microgrid system based on green energy. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/su12145724>
- Balbis-Morejón, M., Cabello-Eras, J. J., Rey-Hernández, J. M., Isaza-Roldan, C., & Rey-Martínez, F. J. (2023). Selection of HVAC technology for buildings in the tropical climate case study. *Alexandria Engineering Journal*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.02.015>
- Bamidele, R. O., Ozturen, A., Haktanir, M., & Ogunmokun, O. A. (2023). Realizing Green Airport Performance through Green Management Intransigence, Airport Reputation, Biospheric Value, and Eco-Design. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032475>
- Chaudhary, G., Lamb, J. J., Burheim, O. S., & Austbø, B. (2021). Review of energy storage and energy management system control strategies in microgrids. In *Energies* (Vol. 14, Issue 16). <https://doi.org/10.3390/en14164929>
- Dhanalakshmi, S., Poongothai, M., & Sharma, K. (2020). IoT Based Indoor Air Quality and Smart Energy Management for HVAC System. *Procedia Computer Science*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.193>
- Escrivá-Escrivá, G., Segura-Heras, I., & Alcázar-Ortega, M. (2010). Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems. *Energy and Buildings*, 42(11). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.023>
- Faizah, F., Suhanto, Kustori, & Utomo, S. B. (2021). Fuzzy Logic for Lighting System in Eco Airport Passenger Waiting Room. *Journal of Physics: Conference Series*, 1845(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1845/1/012050>
- Herberger, S., & Ulmer, H. (2012). Indoor Air Quality Monitoring Improving Air Quality Perception. *Clean - Soil, Air, Water*, 40(6). <https://doi.org/10.1002/clen.201000286>
- Hu, R., Wang, H., Liang, J., Li, X., Zheng, W., & Liu, G. (2022). Optimize Electricity Usage In Airports How Branch Level Monitoring Can Result in Huge Savings. <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/5/1355>
- Huang, H., Chen, L., & Hu, E. (2014). Model predictive control for energy-efficient buildings: An airport terminal building study. *IEEE International Conference on Control and Automation, ICCA*. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2014.6871061>
- Huang, K., Xu, J., Guan, J., Feng, G., & Liu, X. (2023). Optimization of a collector-storage solar air heating system for building heat recovery ventilation preheating in the cold area. *Energy and Buildings*, 284. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112875>
- Husnawati, H., Italiana, F., Zariyatul, Z., & Budiarti, E. (2022). Upaya Mengembangkan Literasi Anak Usia Dini dengan Perpustakaan Digital. *JiIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 5(6), 1717–1720. <https://doi.org/10.54371/jiip.v5i6.628>
- I Komang Yasa Pastika, & Dr. Ir. Putu Gde Ery Suardana, M.Erg. (2021). Penerapan Eco Airport Pada Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai. *Jurnal Analisa*, 9(2). <https://doi.org/10.46650/anala.9.2.1156.29-36>
- Khosravi, M., Huber, B., Decoussemaeker, A., Heer, P., & Smith, R. S. (2024). Model Predictive Control in buildings with thermal and visual comfort constraints. *Energy and Buildings*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113831>
- Korba, P., Sekelová, I., Koščáková, M., & Behúnová, A. (2023). Passengers' Knowledge and Attitudes toward Green Initiatives in Aviation. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15076187>
- Li, Y., & Gao, G. (2023). Large-scale Passenger Behavior Learning and Prediction in Airport Terminals based on Multi-Agent Reinforcement Learning. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 5(1). <https://doi.org/10.54097/fcis.v5i1.12008>
- Lin, L., Li, L., Liu, X., Zhang, T., Liu, X., Wei, Q., Gao, X., Wang, T., Tu, S. D., Zhu, S. P., Zou, W. B., & Qu, H. (2019). Performance investigation of indoor thermal environment and air handling unit in a hub airport terminal. *E3S Web of Conferences*, 111. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911101024>

- Liu, X., Zhang, T., Liu, X., Li, L., Lin, L., & Jiang, Y. (2021). Energy saving potential for space heating in Chinese airport terminals: The impact of air infiltration. *Energy*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119175>
- Luo, Q. (2023a). Discussion on the Application of BIM Technology in HVAC Design. *Studies in Social Science Research*, 4(2). <https://doi.org/10.22158/sssr.v4n2p120>
- Luo, Q. (2023b). Research on the Development of HVAC Technology and Building Energy Conservation in China. *Applied Science and Innovative Research*, 7(2), p139. <https://doi.org/10.22158/asir.v7n2p139>
- M. Kareem, F., M. Abd, A., & N. Zehawi, R. (2021). Utilize BIM Technology for Achieving Sustainable Passengers Terminal in Baghdad International Airport. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 14(4), 62–78. <https://doi.org/10.24237/djes.2021.14406>
- Mckoy, D. Q. R., Tesiero, R. C., Acquaah, Y. T., & Gokaraju, B. (2023). Review of HVAC Systems History and Future Applications. In *Energies* (Vol. 16, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/en16176109>
- Minja, M., & Mushi, A. (2023). Design of International Airport Hybrid Renewable Energy System. *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, 42(1). <https://doi.org/10.52339/tjet.v42i1.887>
- Mulyanda, I., Santoso, S., Rachmat, A. R., & Wahyudi, W. (2022). The Correlation Between Eco-Airport Implementation and Organizational Commitment to the Intention of Employee's Green Behavior. *Almana: Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 6(2). <https://doi.org/10.36555/almana.v6i2.1885>
- Mulyani, S., Rianto, R., & Adiputra, B. D. (2023). Green Concept of Kulon Progo Airport Development Using UMI Simulation. *Compiler*, 12(1). <https://doi.org/10.28989/compiler.v12i1.1654>
- Pan, Y. (2023). Review of energy saving technologies research in HVAC systems. *E3S Web of Conferences*, 438. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343801006>
- Perekrest, A., Ogar, V., Kushch-Zhyrko, M., & Gerasimenko, O. (2022). Energy balance indicators calculation software solution for energy management systems. In *Cloud IoT: Concepts, Paradigms, and Applications*. <https://doi.org/10.1201/9781003155577-10>
- Piao, A. L. L., Purwanto, & Purnaweni, H. (2021). Analysis of the implementation of eco-airport concept using willingness to pay method at Soekarno-Hatta airport. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. <https://doi.org/10.46254/an11.20211106>
- Raimundo, R. J., Baltazar, M. E., & Cruz, S. P. (2023). Sustainability in the Airports Ecosystem: A Literature Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 16). <https://doi.org/10.3390/su151612325>
- 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.
- Shafei, M. A. R., Tawfik, M. A., & Ibrahim, D. K. (2020). Fuzzy control scheme for energy efficiency and demand management in airports using 3D simulator. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(2). <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i2.pp583-592>
- Song, L., Gao, W., Yang, Y., Zhang, L., Li, Q., & Dong, Z. (2022). Terminal Cooling Load Forecasting Model Based on Particle Swarm Optimization. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141911924>
- Tang, H., Yu, J., Geng, Y., Wang, Z., Liu, X., Huang, Z., & Lin, B. (2023). Unlocking ventilation flexibility of large airport terminals through an optimal CO₂-based demand-controlled ventilation strategy. *Building and Environment*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110808>
- Yan, N., Ma, G., Li, X., Qu, C., & Zhong, Y. (2022). Multi-stakeholders energy management and control method of integrated energy system considering carbon trading mechanism. *Energy Reports*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.165>

- Yang, Y., Chen, C., Li, Z., Guan, D., & Su, F. (2023). Electricity consumption characteristics and prediction model of a large airport terminal in Beijing. *City and Built Environment*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44213-023-00012-1>
- Yang, Y., Geng, Y., Tang, H., Yuan, M., Yu, J., & Lin, B. (2024). Extraction method of typical IEQ spatial distributions based on low-rank sparse representation and multi-step clustering. *Building Simulation*. <https://doi.org/10.1007/s12273-024-1117-6>
- Yue, B., Su, B., Xiao, F., Li, A., Li, K., Li, S., Yan, R., Lian, Q., Li, A., Li, Y., Fang, X., & Liang, X. (2023). Energy-oriented control retrofit for existing HVAC system adopting data-driven MPC – Methodology, implementation and field test. *Energy and Buildings*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113286>
- Zanni, S., Lalli, F., Foschi, E., Bonoli, A., & Mantecchini, L. (2018). Indoor air quality real-time monitoring in airport terminal areas: An opportunity for sustainable management of micro-climatic parameters. *Sensors (Switzerland)*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18113798>