

# Integrasi Arsitektur Ekologis dan Teknologi Cerdas dalam Desain Hotel Resor Berkelanjutan

Stella Ananda Harry Putri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

**Abstrak.** Hotel resor sebagai fasilitas akomodasi yang berperan penting dalam industri pariwisata memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, termasuk konsumsi energi yang tinggi, emisi karbon, dan polusi. Permasalahan ini memunculkan kebutuhan akan pendekatan desain berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini mengeksplorasi integrasi arsitektur ekologis dan teknologi cerdas dalam perancangan hotel resor berkelanjutan, guna menciptakan desain yang mendukung keberlanjutan lingkungan dan meningkatkan efisiensi operasional. Metode penelitian meliputi studi pustaka, analisis preseden arsitektur berkelanjutan, dan evaluasi teknologi cerdas yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi arsitektur ekologis dan teknologi cerdas mampu mengurangi konsumsi energi hingga 40%, meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30%, dan mengurangi emisi karbon secara signifikan, menjadikan hotel resor sebagai model perancangan berkelanjutan yang relevan. Penelitian ini juga mengidentifikasi tantangan utama dalam implementasi, seperti biaya tinggi dan keterbatasan teknologi. Rekomendasi solusi mencakup inovasi material hijau yang terjangkau dan peningkatan sistem pemantauan berbasis kecerdasan buatan.

**Kata kunci**—*arsitektur ekologis; hotel resor; keberlanjutan; teknologi cerdas*

## 1. PENDAHULUAN

Menurut laporan *The Global Resources Outlook 2024* yang dirilis oleh Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa, dunia saat ini menghadapi tiga krisis utama yaitu perubahan iklim, hilangnya keanekaragaman hayati, dan polusi [1]. Laporan ini menegaskan bahwa tanpa intervensi segera, tingkat ekstraksi sumber daya diperkirakan akan meningkat sebesar 60% pada tahun 2060, yang akan memperburuk kerusakan lingkungan serta meningkatkan risiko ekologis. Industri pariwisata, khususnya sektor perhotelan, memiliki peran penting dalam mendukung ekonomi dan pembangunan, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap degradasi lingkungan. Konsumsi air di hotel, kolam renang, dan lapangan golf yang tinggi, serta penggunaan bahan perusak ozon pada peralatan seperti AC dan lemari es, menunjukkan besarnya tekanan yang dihasilkan dari sektor ini [2]. Berdasarkan tinjauan literatur ekstensif dari 30 publikasi, suatu studi mengungkapkan bahwa konsumsi air rata-rata mencapai 981 liter per kamar per hari dan 686 liter per tamu per hari [3]. Penelitian lain dari tahun 2022 menunjukkan bahwa banyak hotel yang belum memenuhi standar internasional sebesar 140 liter per tamu per hari, menyoroti kesenjangan antara konsumsi air aktual dan target keberlanjutan global yang diharapkan [4]. Selain itu, sekitar 15% hotel di wilayah berkembang masih bergantung pada zat perusak ozon untuk sistem pendinginan udara hingga 2022 [5]. Pembangunan hotel, fasilitas rekreasi, dan sarana lainnya sering kali menyebabkan peningkatan polusi limbah yang mencemari laut atau danau serta merusak flora dan fauna kawasan setempat.

Hotel resor sebagai bagian integral dari industri pariwisata memiliki potensi besar untuk bertransformasi menjadi fasilitas yang lebih ramah lingkungan. Seiring dengan perkembangan zaman, permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh sektor pariwisata dapat diatasi dengan integrasi konsep arsitektur ekologis dan teknologi cerdas. Arsitektur ekologis mengutamakan keselarasan antara bangunan dan lingkungan sekitarnya dengan memanfaatkan sumber daya secara bijak serta meminimalkan dampak negatif terhadap

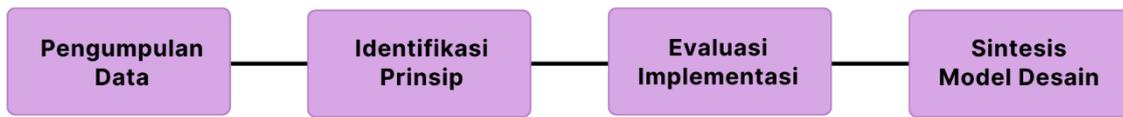
<sup>1</sup> Corresponding author: [stellaahppp@gmail.com](mailto:stellaahppp@gmail.com)

ekosistem. Prinsip utama dalam arsitektur ekologis adalah efisiensi sumber daya, keseimbangan ekosistem, dan keberlanjutan jangka panjang. Penerapannya mengutamakan pemanfaatan material hijau dan desain hemat energi, dapat memperkuat keberlanjutan fasilitas pariwisata tersebut. Teknologi cerdas melengkapi arsitektur ekologis dengan inovasi berbasis digital yang meningkatkan efisiensi operasional. Prinsip-prinsip teknologi cerdas adalah otomatisasi energi, sistem pemantauan lingkungan berbasis sensor, dan optimasi sumber daya. Inovasi kombinasi kedua konsep ini memungkinkan hotel resor mencapai efisiensi energi dan meminimalkan jejak karbon secara signifikan, sehingga menciptakan dampak positif bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peluang dan tantangan dalam menggabungkan teknologi cerdas dengan arsitektur ekologis pada desain hotel resor, guna memberikan kontribusi nyata bagi keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini juga mencakup studi pustaka dan analisis preseden dari berbagai contoh hotel resor berkelanjutan yang sudah ada, serta evaluasi terhadap teknologi cerdas yang relevan. Dengan memahami sinergi antara desain ekologis dan teknologi cerdas, diharapkan dapat diperoleh model perancangan yang tidak hanya estetis dan fungsional, tetapi juga mendukung kelestarian lingkungan dan memberikan pengalaman holistik yang lebih baik bagi para pengunjung.

## 2. METODE PENELITIAN

Makalah ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan studi pustaka dan analisis preseden untuk mengeksplorasi integrasi arsitektur ekologis dan teknologi cerdas dalam desain hotel resor berkelanjutan. Fokus utama adalah mengevaluasi prinsip arsitektur ekologis dan teknologi cerdas yang diterapkan pada hotel resor berkelanjutan. Pertama, pengumpulan data dilakukan dengan tinjauan literatur dan analisa preseden. Tinjauan literatur dilakukan untuk mengidentifikasi prinsip arsitektur ekologis dan teknologi ramah lingkungan yang relevan. Selanjutnya, analisa mendalam dilakukan terhadap contoh-contoh hotel resor berkelanjutan yang sudah ada untuk memahami penerapan prinsip-prinsip tersebut serta tantangan yang dihadapi.

Data yang terkumpul akan diolah dengan proses identifikasi, analisa, dan sintesis. Proses identifikasi dilakukan dengan menentukan prinsip dan indikator keberlanjutan pada desain hotel resor. Selanjutnya, analisa dilakukan dengan mengevaluasi efektivitas penerapan teknologi cerdas dan prinsip ekologis dalam kasus nyata. Pada akhirnya, sintesis dilakukan dengan mengintegrasikan temuan untuk menghasilkan model desain yang relevan dengan tujuan keberlanjutan. Penelitian ini juga mengevaluasi teknologi cerdas, seperti sistem otomatisasi energi dan pengelolaan air berbasis sensor, yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi jejak karbon. Dengan menggabungkan desain ekologis dan inovasi teknologi, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model perancangan yang dapat diterapkan dalam pembangunan hotel resor yang ramah lingkungan. Hasil sintesis temuan ini diharapkan menghasilkan rekomendasi desain yang mampu mengintegrasikan prinsip arsitektur ekologis dan teknologi cerdas secara efektif, mendukung keberlanjutan lingkungan, dan menciptakan pengalaman holistik bagi pengunjung.



Gambar 1 Alur Diagram Metode Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejak awal abad ke-21, arsitektur mulai beralih dari pendekatan konsumtif ke desain yang lebih ramah lingkungan, yaitu arsitektur ekologis. Arsitektur ekologis merupakan ilmu yang mempelajari keselarasan bangunan dan ekosistem yang dibangunnya dengan cara memaksimalkan potensi alam dan meminimalkan dampak negatif akibat bangunan tersebut [6]. Ketika arsitektur menggunakan ekologi sebagai analogi pemanfaatan ekosistem alam dalam sebuah bangunan, maka posisi arsitektur tersebut telah menjadi pengganti alam. Arsitektur ekologis melibatkan elemen utama seperti udara (menjaga kualitas udara), air (keberlanjutan sumber daya air), tanah (media kehidupan), dan api (energi pendukung kebutuhan manusia) [7]. Prinsip desain yang diterapkan dalam arsitektur ekologis meliputi beberapa aspek penting [8]. Pertama, elemen-elemen ekologis yang mengutamakan integrasi dengan alam, efisiensi sumber daya, dan keberlanjutan lingkungan harus diterapkan secara menyeluruh pada setiap aspek tapak, denah, desain, fungsi, material, serta instalasi teknis yang mendukung operasional dan pemeliharaan bangunan. Kedua, desain harus mengedepankan prinsip konsumsi rendah baik dalam penggunaan material maupun energi, serta memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, dan air. Selain itu, penting untuk menghindari penggunaan bahan bangunan yang dapat mencemari lingkungan. Ketiga, prinsip kehidupan berdampingan secara harmonis antara manusia dan makhluk hidup lainnya harus diterapkan, dengan tujuan mencapai keberlanjutan jangka panjang.

Pada zaman modern ini, teknologi cerdas menjadi elemen penting dalam mendukung keberlanjutan arsitektur ekologis, khususnya dalam desain hotel resor berkelanjutan. Penggunaan teknologi cerdas, seperti material hijau, sistem otomatisasi energi, sensor untuk pemantauan lingkungan, dan pengelolaan air berbasis sensor, memungkinkan bangunan untuk lebih efisien dalam konsumsi energi dan sumber daya alam. Teknologi ini dapat mengurangi jejak karbon, mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan, serta meningkatkan kualitas udara dan pengelolaan limbah. Dalam konteks hotel resor, penerapan teknologi cerdas tidak hanya berfokus pada efisiensi energi tetapi juga pada kenyamanan dan pengalaman holistik bagi pengunjung. Integrasi teknologi ini memungkinkan kontrol otomatis atas sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC), pencahayaan, serta penggunaan air secara lebih efisien, menjadikan hotel resor sebagai ruang yang ramah lingkungan sekaligus inovatif. Dengan pendekatan ini, keberlanjutan tidak hanya dicapai dari sisi desain bangunan tetapi juga melalui teknologi yang mendukung operasional dan pemeliharaan bangunan secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

### 3.1. Material Hijau

Peran bahan bangunan ramah lingkungan sangat penting dalam memajukan arsitektur berkelanjutan mengatasi masalah-masalah utama lingkungan hidup, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan mempromosikan prinsip penggunaan kembali dan daur ulang [9]. Inovasi seperti bahan hasil daur ulang, komponen berbasis bio, dan isolasi canggih mengurangi dampak lingkungan dari konstruksi, mendukung konservasi dan ekonomi sirkular[10]. Bahan daur ulang—seperti kayu bekas, baja bekas, dan beton pecah—membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya mentah baru dan mengurangi limbah TPA. Misalnya, penggunaan baja daur ulang dalam konstruksi, material daur ulang mengubah produk bekas menjadi elemen bangunan baru, ataupun bahan konstruksi bangunan dari limbah plastik. Bahan-bahan daur ulang ini dapat turut meminimalisir energi yang dikeluarkan dan kerusakan pada lingkungan. Selain itu, Bahan terbiodegradasi dan bio-based menawarkan alternatif ramah lingkungan bagi bahan bangunan konvensional, memanfaatkan sumber terbarukan seperti bambu, hempcrete, dan gabus. Bambu, pilihan cepat tumbuh yang ideal untuk struktur dan lantai, serta hempcrete yang berfungsi sebagai isolator alami, mampu menyerap lebih banyak CO<sub>2</sub> daripada emisinya. Kayu rekayasa dan bioplastik tertentu juga terurai secara alami, mengurangi limbah TPA di akhir masa pakainya. Insulasi canggih seperti aerogel dan panel isolasi vakum (VIP) meningkatkan efisiensi energi. Bahan-bahan ini membantu mengurangi kebutuhan pemanasan dan pendinginan, sehingga mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kualitas ruangan kenyamanan [11]. Mengadopsi bahan-bahan ini membantu mengatasi tantangan ekologi sekaligus meningkatkan efisiensi energi dan mencapai penghematan jangka panjang. Kolaborasi antara arsitek, pembangun, pembuat kebijakan, dan konsumen sangat penting untuk memajukan praktik-praktik berkelanjutan, dengan peraturan, insentif, dan pilihan-pilihan yang terinformasi secara kolektif mendorong pergeseran menuju praktik-praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan.

### 3.2. Sistem Efisiensi Energi

Teknologi pintar mengubah efisiensi energi dengan mengoptimalkan operasional hotel dan mengurangi limbah secara signifikan. Salah satu contohnya dari studi kasus Bohinj ECO Hotel di Slovenia, dimana beberapa sistem efisiensi energi digunakan secara efektif. Pertama, pompa panas udara-ke-air yang canggih mengubah kelebihan panas dari perangkat elektronik hotel menjadi air panas, sehingga mengurangi penggunaan energi melalui pendekatan tujuan ganda. Pencahayaan LED juga semakin mengurangi konsumsi energi, hanya menggunakan sebagian kecil dari kebutuhan bohlam tradisional dan juga tahan lebih lama. Sistem manajemen energi cerdas mengotomatiskan penggunaan energi hotel berdasarkan hunian real-time dan kondisi lingkungan, sehingga meminimalkan konsumsi yang tidak perlu. Misalnya, saklar yang diaktifkan dengan kartu kunci akan mematikan listrik ruangan ketika tamu keluar, sementara sensor jendela akan menonaktifkan unit AC jika jendela terbuka. Sistem pintar ini secara efektif meminimalkan pemborosan energi, meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi operasional di hotel. Dengan mengintegrasikan sensor hunian, pencahayaan adaptif, dan daur ulang panas, hotel dapat memangkas biaya energi dan memperpanjang umur peralatan, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya.



Gambar 2 Bohinj ECO Hotel di Slovenia [12]

### 3.3. Pengelolaan Air Sensorik & Air Limbah

Teknologi pintar memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi dan air di hotel, khususnya di wilayah yang menghadapi tantangan lingkungan. Melalui inisiatif pengelolaan dan konservasi air yang inovatif, hotel-hotel seperti Mövenpick Petra di Yordania dan Sofitel Noosa Pacific Resort di Australia menunjukkan bagaimana praktik berkelanjutan dapat secara signifikan mengurangi konsumsi sumber daya sekaligus meningkatkan pengalaman tamu. Mövenpick Petra, Yordania terletak di wilayah dengan kelangkaan air yang signifikan, Mövenpick Petra telah menerapkan langkah-langkah konservasi air yang efektif untuk mengurangi konsumsi. Dari tahun 2020 hingga 2022, hotel ini mengganti 90% bak mandinya dengan bilik pancuran, sehingga mengurangi penggunaan air secara signifikan. Pada tahun 2023, peralihan ini menurunkan konsumsi air dari 45 juta liter pada tahun 2019 menjadi 33 juta liter, penurunan sebesar 25%. Hotel ini juga menggunakan teknologi pintar, seperti perlengkapan aliran rendah dan sistem pelacakan air, yang memantau dan mengoptimalkan penggunaan air secara terus menerus. Upaya ini telah memperkuat keberlanjutan di hotel dan mendapat dukungan positif dari para tamu dan staf, sehingga meningkatkan kesadaran lingkungan.



Gambar 3 Mövenpick Petra di Yordania [13]

Sofitel Noosa Pacific Resort juga telah memperkenalkan sistem pemanenan air hujan yang inovatif, yang mengumpulkan 16.800 liter air hujan untuk digunakan dalam irigasi dan kolam, sehingga mendapatkan sertifikasi resor *Ecotourism* Australia pada tahun 2023. Hotel ini juga menggunakan teknologi pengelolaan air cerdas, termasuk keran yang diaktifkan sensor dan sistem yang mendaur ulang air limbah yang telah diolah untuk lansekap, yang meminimalkan dampak lingkungan sekaligus menjaga ruang hijau dan fasilitas tamu. Praktik-praktik ini meningkatkan efisiensi sumber daya, menurunkan biaya, dan meningkatkan kepuasan tamu, yang menunjukkan bagaimana praktik berkelanjutan dapat memberikan manfaat bagi lingkungan dan operasional hotel. Upaya-upaya ini menunjukkan komitmen industri perhotelan terhadap keberlanjutan dengan menggunakan teknologi canggih untuk pengelolaan sumber daya yang efisien. Dengan mengadopsi solusi cerdas untuk air dan energi, hotel tidak hanya mendukung tujuan lingkungan namun juga menciptakan ruang yang ramah lingkungan dan menarik bagi para tamu.



Gambar 4 Sofitel Noosa Pacific Resort di Australia [14]

Meskipun integrasi arsitektur ekologis dan teknologi cerdas menawarkan potensi besar untuk meningkatkan keberlanjutan hotel resor, terdapat beberapa tantangan dalam implementasinya. Salah satu hambatan utama adalah biaya tinggi yang terkait dengan pemasangan teknologi cerdas dan penggunaan material ramah lingkungan, yang sering kali lebih mahal daripada alternatif konvensional. Selain itu, keterbatasan teknologi di beberapa wilayah dan kekurangan pengetahuan dalam mengadopsi teknologi ini dapat menghambat penerapannya secara luas. Beberapa hotel mungkin tidak memiliki sumber daya atau keahlian yang diperlukan untuk merancang dan mengelola sistem yang memanfaatkan teknologi cerdas secara optimal. Oleh karena itu, meskipun ada keuntungan jangka panjang, tantangan biaya dan keterbatasan teknologi menjadi hambatan yang harus diatasi agar keberlanjutan dapat diwujudkan secara efektif di seluruh industri perhotelan.

Tantangan-tantangan tersebut tetap tidak dapat menutupi potensi sangat besar untuk mengembangkan lebih lanjut integrasi teknologi cerdas dan arsitektur ekologis di industri perhotelan. Inovasi lebih lanjut dalam sistem pemantauan lingkungan dan efisiensi energi dapat membawa dampak positif yang lebih besar. Misalnya, pengembangan sistem pemantauan berbasis kecerdasan buatan yang dapat menganalisis data lingkungan secara real-time untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengatur suhu, dan mengelola konsumsi air secara otomatis, berpotensi mengurangi pemborosan lebih lanjut. Selain itu, pengembangan material hijau yang lebih murah dan efisien, serta peningkatan teknologi dalam sistem daur ulang air dan energi, dapat membuat praktik berkelanjutan lebih terjangkau dan dapat diakses oleh lebih banyak hotel. Dengan terus berinovasi dalam bidang teknologi dan material, industri perhotelan dapat menciptakan lingkungan yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya, sekaligus menawarkan pengalaman yang lebih holistik dan berkelanjutan bagi tamu.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi arsitektur ekologis dan teknologi cerdas dalam desain hotel resor berkelanjutan memiliki potensi signifikan untuk mengurangi dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, dan memberikan pengalaman holistik yang lebih baik bagi pengguna. Arsitektur ekologis, dengan prinsip utama seperti efisiensi sumber daya, keseimbangan ekosistem, dan keberlanjutan jangka panjang, dapat memperkuat desain bangunan yang harmonis dengan lingkungan sekitar. Teknologi cerdas, seperti sistem otomatisasi energi, sensor pemantauan lingkungan, dan material hijau, melengkapi pendekatan ini dengan inovasi digital yang meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi jejak karbon. Studi preseden dari berbagai hotel, seperti Bohinj ECO Hotel di Slovenia dan Mövenpick Petra di Yordania, menunjukkan keberhasilan penerapan strategi ini dalam meningkatkan keberlanjutan. Contohnya adalah penggunaan material daur ulang, sistem pemanas berbasis daur ulang energi, serta teknologi pemanenan air hujan yang inovatif. Sistem manajemen energi cerdas dan pengelolaan air berbasis sensor juga telah terbukti efektif dalam menekan konsumsi sumber daya, mengurangi limbah, dan meningkatkan kesadaran lingkungan baik di kalangan staf maupun pengunjung.

Namun, penerapan integrasi ini juga menghadapi tantangan, seperti tingginya biaya awal teknologi dan material, keterbatasan infrastruktur di beberapa wilayah, serta kebutuhan akan keahlian khusus. Untuk mengatasi hambatan ini, diperlukan kolaborasi antara arsitek, pembuat kebijakan, dan industri teknologi dalam menciptakan solusi yang lebih terjangkau dan terintegrasi. Selain itu, inovasi lebih lanjut dalam material hijau yang ekonomis, kecerdasan buatan untuk pemantauan energi, serta sistem daur ulang yang lebih efisien dapat mendorong penerapan luas konsep ini di sektor perhotelan. Dengan demikian, integrasi arsitektur ekologis dan teknologi cerdas dapat menjadi model perancangan yang relevan untuk menghadapi tantangan global, menciptakan dampak positif terhadap lingkungan, dan mendorong keberlanjutan jangka panjang dalam industri perhotelan. Hal ini tidak hanya mendukung upaya pelestarian lingkungan tetapi juga meningkatkan daya tarik dan keberlanjutan ekonomi dari fasilitas akomodasi pariwisata di masa depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] United Nations Environment Programme, “Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend - Pathways to a liveable planet as resource use spikes.,” Nairobi, 2024. doi: DTI/2618/NA.
- [2] M. M. Sadeghian, “Negative Environmental Impacts of Tourism, a Brief Review,” *Journal of Novel Applied Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 71–76, 2019.
- [3] M. Alhudaithi, F. J. Arregui, and R. Cobacho, “Proposal of a Water Consumption Efficiency Indicator for the Hotel Sector,” *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 23, p. 3828, Dec. 2022, doi: 10.3390/W14233828/S1.
- [4] N. Antonova, I. Ruiz-Rosa, and J. Mendoza-Jimenez, “Water Resource Management in Hotels Using a Sustainable Balanced Scorecard,” *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 8171*, vol. 14, no. 13, p. 8171, Jul. 2022, doi: 10.3390/SU14138171.
- [5] E. Ricaurte and R. Jagarajan, “Hotel Sustainability Benchmarking Index 2024,” *Cornell Hospitality Report*, vol. 24, no. 10, pp. 1–38, May 2024, Accessed: Nov. 11, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/1813/115166>
- [6] R. A. Larasati and A. F. Satwikasari, “A Study of Ecological Architecture Concepts in the Residence of Glintung Village, Malang City,” *Jurnal Koridor*, vol. 13, no. 1, pp. 27–34, Jul. 2022, doi: 10.32734/koridor.v13i1.6283.
- [7] A. A. Muslim, A. Ashadi, and A. F. Satwikasari, “Konsep Arsitektur Ekologi pada Penataan Kawasan Wisata Candi Cangkuang di Garut, Jawa Barat,” *PURWARUPA Jurnal Arsitektur*, vol. 2, no. 2, pp. 57–70, Feb. 2019, doi: 10.24853/PURWARUPA.2.2.57-70.
- [8] M. Lan, “Create a harmonious environment together of ecological architecture design method,” in *Procedia Environmental Sciences*, Elsevier B.V., 2011, pp. 1774–1780. doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.278.
- [9] N. Shehata, O. A. Mohamed, E. T. Sayed, M. A. Abdelkareem, and A. G. Olabi, “Geopolymer concrete as green building materials: Recent applications, sustainable development and circular economy potentials,” *Science of The Total Environment*, vol. 836, p. 155577, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155577.
- [10] Obinna Iwuanyanwu, Ifechukwu Gil-Ozoudeh, Azubuike Chukwudi Okwandu, and Chidiebere Somadina Ike, “The role of green building materials in sustainable architecture: Innovations, challenges, and future trends,”

---

*International Journal of Applied Research in Social Sciences*, vol. 6, no. 8, pp. 1935–1950, Aug. 2024, doi: 10.51594/ijarss.v6i8.1476.

- [11] D. E. Ekechukwu and P. Simpa, “Trends, insights, and future prospects of renewable energy integration within the oil and gas sector operations,” *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, vol. 12, no. 1, pp. 152–167, May 2024, doi: 10.30574/WJAETS.2024.12.1.0207.
- [12] Bohinj ECO Hotel, “Gallery - Bohinj ECO Hotel.” Accessed: Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.bohinj-eco-hotel.si/gallery/>
- [13] Movenpick Hotel & Resorts, “Mövenpick Resort Petra | 5 Star Resort in Petra, Jordan.” Accessed: Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://movenpick.accor.com/en/middle-east/jordan/petra/resort-petra.html>
- [14] Sofitel Noosa Pacific Resort, “Sofitel Noosa Pacific Resort - Sustainability - Our Commitment.” Accessed: Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.sofitelnoosapacificresort.com.au/sustainability/>