



---

# Integrasi Teknologi Solar dan Geothermal pada Bangunan Hijau

Onie D. Sanitha

Prodi Arsitektur, Universitas Palangka Raya

---

## Info Artikel

### Histori Artikel:

Tanggal diterima,  
Tanggal Revisi,  
Tanggal Publikasi,

Bagian ini diisi oleh Tim Jurnal ALIBI

---

## ABSTRAK

Dalam upaya menghadirkan bangunan yang lebih efisien dan ramah lingkungan, integrasi energi terbarukan menjadi komponen vital dalam desain green building. Artikel ini mengeksplorasi pemanfaatan teknologi energi surya (solar) dan energi panas bumi (geothermal) sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan berkelanjutan. Teknologi solar, melalui panel fotovoltaik (PV) dan sistem pemanas air tenaga surya, telah terbukti mampu menyediakan sumber energi bersih dan berlimpah untuk kebutuhan listrik dan pemanas bangunan. Sementara itu, sistem energi geothermal menawarkan pendekatan hemat energi untuk sistem pemanasan dan pendinginan, dengan memanfaatkan suhu tanah yang stabil di bawah permukaan bumi. Penelitian ini menganalisis bagaimana integrasi kedua teknologi ini dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, menurunkan emisi karbon, serta mengoptimalkan performa energi pada green building di berbagai kondisi iklim. Selain itu, studi kasus dari beberapa proyek bangunan hijau yang berhasil menerapkan kombinasi solar dan geothermal akan dibahas untuk memberikan wawasan praktis tentang penerapan teknologi ini. Melalui pendekatan ini, arsitektur berkelanjutan tidak hanya menjadi lebih layak secara ekonomi tetapi juga mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap mitigasi perubahan iklim dan pelestarian lingkungan.

**Kata kunci :** Energi Terbarukan, Teknologi Solar, Teknologi Geothermal, Green Building, Arsitektur Berkelanjutan, Efisiensi Energi, Bangunan Hijau.

---

## Corresponding Author:

Nama Author :  
Onie D. Sanitha

Email:  
nonionie@gmail.com

## Abstract

*In an effort to present more efficient and environmentally friendly buildings, the integration of renewable energy is a vital component in green building design. This article explores the use of solar and geothermal energy technologies as innovative solutions to improve the energy efficiency of sustainable buildings. Solar technology, through photovoltaic (PV) panels and solar water heating systems, has been proven to provide a clean and abundant source of energy for electricity and building heating needs. Meanwhile, geothermal energy systems offer an energy-efficient approach to heating and cooling systems, by utilizing stable ground temperatures below the earth's surface. This study analyzes how the integration of these two technologies can reduce dependence on fossil fuels, reduce carbon emissions, and optimize energy performance in green buildings in various climate conditions. In addition, case studies of several green building projects that have successfully implemented*

*a combination of solar and geothermal will be discussed to provide practical insights into the application of these technologies. Through this approach, sustainable architecture not only becomes more economically feasible but also can make a significant contribution to climate change mitigation and environmental preservation.*

**Keywords:** *Renewable Energy, Solar Technology, Geothermal Technology, Green Building, Sustainable Architecture, Energy Efficiency, Green Building.*

---

## PENDAHULUAN

Perubahan iklim dan kelangkaan sumber daya energi fosil telah mendorong transformasi dalam sektor konstruksi dan arsitektur menuju pendekatan yang lebih berkelanjutan. Bangunan hijau atau *green building* kini menjadi salah satu fokus utama untuk mengurangi jejak karbon sekaligus meningkatkan efisiensi energi. Penggunaan energi terbarukan, khususnya energi surya (solar) dan energi panas bumi (geothermal), menjadi komponen esensial dalam pencapaian tujuan tersebut. Energi surya dapat memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik melalui panel fotovoltaik (PV) dan menghangatkan air, sementara teknologi geothermal memanfaatkan stabilitas suhu tanah untuk memenuhi kebutuhan pemanasan dan pendinginan bangunan.

Seiring perkembangan teknologi, integrasi solar dan geothermal dalam desain arsitektur menjadi semakin relevan, karena kedua sumber energi ini tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga memiliki potensi besar untuk mengurangi biaya operasional bangunan dalam jangka panjang. Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari sisi teknis, ekonomi, maupun regulasi. Oleh karena itu, perlu adanya kajian mendalam mengenai potensi dan hambatan dalam mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam bangunan hijau.

Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana kombinasi teknologi solar dan geothermal dapat diimplementasikan secara efektif dalam *green building*. Studi ini juga akan meninjau beberapa proyek bangunan hijau yang telah berhasil mengintegrasikan kedua teknologi ini, serta mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan.

## KAJIAN PUSTAKA

Penggunaan energi terbarukan dalam bangunan hijau telah menjadi salah satu pendekatan kunci dalam mengurangi emisi karbon dan mencapai keberlanjutan lingkungan. Energi terbarukan, seperti energi surya dan energi panas bumi, memiliki keunggulan signifikan dalam menghasilkan energi bersih yang dapat diandalkan dengan dampak lingkungan yang minimal. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi ini pada bangunan mampu secara signifikan mengurangi konsumsi energi fosil dan meningkatkan efisiensi energi bangunan. Energi surya, yang dihasilkan dari radiasi matahari, merupakan salah satu sumber energi terbarukan paling melimpah. Teknologi yang paling umum digunakan dalam arsitektur untuk memanfaatkan energi ini adalah panel fotovoltaik (PV) dan sistem pemanas air tenaga surya. Penelitian oleh Sartori et al [1] menunjukkan bahwa penggunaan PV pada bangunan tidak hanya mampu menyediakan energi listrik secara mandiri, tetapi juga memberikan kontribusi dalam mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik konvensional. Selain itu, pengaplikasian panel surya pada fasade bangunan atau atap memberikan peluang untuk memadukan estetika desain dengan fungsi teknologi energi terbarukan.

Energi geothermal memanfaatkan stabilitas suhu di bawah permukaan bumi untuk sistem pemanas dan pendingin bangunan. Sistem ini dikenal efisien karena menggunakan panas bumi yang relatif konstan sepanjang tahun. Menurut studi Lund [2], sistem pemanas dan pendingin berbasis geothermal dapat mengurangi konsumsi energi hingga 50% dibandingkan dengan sistem HVAC konvensional. Teknologi ini juga memiliki keunggulan dalam hal ketahanan dan durabilitas karena komponennya berada di bawah tanah dan lebih terlindungi dari pengaruh cuaca. Kombinasi energi surya dan geothermal dalam desain arsitektur telah terbukti menjadi strategi yang efektif dalam mencapai efisiensi energi optimal. Berdasarkan penelitian Zhang [3], integrasi kedua sistem ini tidak hanya mampu mengurangi konsumsi energi, tetapi juga menciptakan redundansi energi, di mana ketika satu sistem tidak berfungsi secara optimal (misalnya pada malam hari atau di musim dingin), sistem lainnya dapat memberikan kompensasi energi. Hal ini menunjukkan fleksibilitas dan efektivitas desain bangunan hijau yang mengintegrasikan lebih dari satu teknologi energi terbarukan. Walaupun memiliki potensi besar, penerapan energi terbarukan pada bangunan hijau masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah biaya awal investasi yang tinggi, terutama untuk instalasi panel surya dan sistem geothermal. Penelitian yang dilakukan oleh Hestnes [4] menunjukkan bahwa meskipun biaya operasional dan perawatan jangka panjang teknologi ini rendah, biaya awal yang tinggi sering menjadi penghalang bagi adopsi yang lebih luas. Selain itu, keterbatasan regulasi dan kebijakan yang mendukung penggunaan energi terbarukan di beberapa negara juga memengaruhi tingkat adopsi teknologi ini dalam proyek konstruksi hijau. Penggunaan teknologi energi terbarukan secara signifikan berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca. Studi oleh Kammen [5] menunjukkan bahwa bangunan yang mengintegrasikan sistem energi terbarukan seperti solar dan geothermal dapat mengurangi emisi karbon hingga 40% dibandingkan dengan bangunan konvensional. Selain itu, bangunan hijau yang menggunakan energi terbarukan juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan melalui pengurangan polusi udara dan pencemaran tanah yang biasanya terkait dengan penggunaan energi fosil. Beberapa proyek bangunan hijau telah berhasil mengintegrasikan teknologi solar dan geothermal dalam desain mereka. Salah satu contohnya adalah Bullitt Center di Seattle, Amerika Serikat, yang dikenal sebagai salah satu bangunan paling berkelanjutan di dunia. Bangunan ini menggunakan kombinasi panel surya dan sistem pemanas geothermal, yang secara bersama-sama menghasilkan energi lebih dari kebutuhan operasionalnya, menjadikannya bangunan dengan nol energi bersih (*net zero energy building*) [6].

Dari berbagai penelitian, terlihat bahwa integrasi teknologi solar dan geothermal memberikan manfaat yang besar bagi desain bangunan berkelanjutan. Namun, keberhasilan penerapannya tergantung pada dukungan kebijakan, inovasi teknologi, dan kesadaran ekonomi mengenai biaya awal yang tinggi. Kajian ini menegaskan perlunya pendekatan holistik dalam perencanaan bangunan hijau yang menggabungkan berbagai sistem energi terbarukan untuk menciptakan solusi arsitektur yang efisien dan berkelanjutan.

## PEMBAHASAN

Integrasi teknologi energi terbarukan, khususnya energi surya dan panas bumi (geothermal), dalam desain bangunan hijau menawarkan solusi praktis dan berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil serta menurunkan emisi karbon. Dengan menggabungkan dua sistem energi ini, arsitektur modern dapat mencapai efisiensi energi yang tinggi, memperpanjang umur bangunan, dan meningkatkan kualitas hidup penghuninya.

### Bullitt Center di Seattle

Energi surya merupakan salah satu sumber energi yang paling mudah diakses, terutama di daerah dengan tingkat radiasi matahari yang tinggi. Teknologi yang paling umum digunakan dalam arsitektur adalah panel fotovoltaik (PV) dan sistem pemanas air tenaga surya. Dalam arsitektur modern, panel surya sering kali ditempatkan pada atap atau fasade bangunan, memaksimalkan paparan matahari tanpa mengorbankan estetika desain.

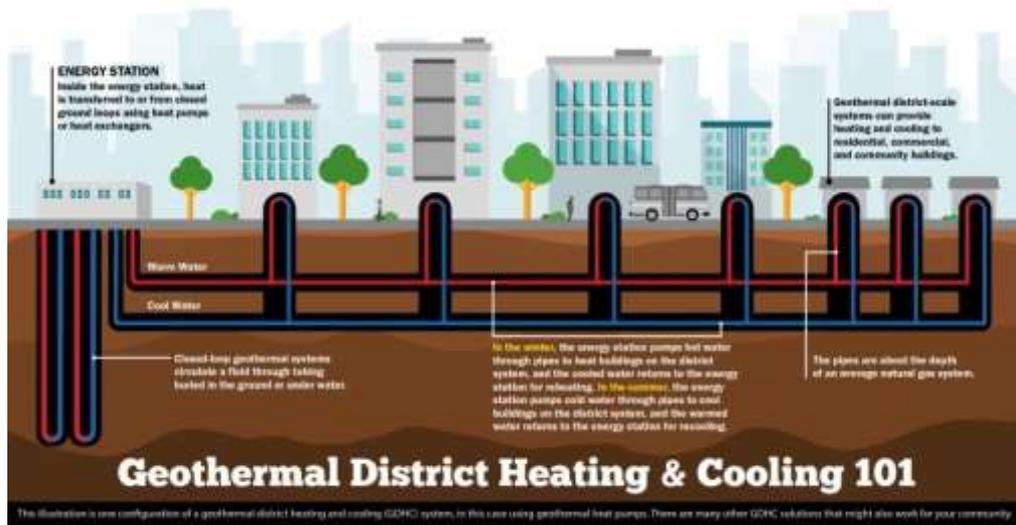


Gambar 1 Bullitt Center, Seattle [7]

Pada Bullitt Center di Seattle, penggunaan panel surya secara signifikan mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik. Bangunan ini dilengkapi dengan atap PV yang dirancang khusus untuk menangkap energi matahari sepanjang tahun. Desain ini juga memanfaatkan *overhang* atau kanopi PV yang tidak hanya berfungsi sebagai peneduh tetapi juga menghasilkan energi bersih untuk kebutuhan listrik bangunan. Dalam konteks ini, desain arsitektur berhasil mengintegrasikan elemen fungsional dan estetis.

### Pemanfaatan Teknologi Geothermal dalam Bangunan Kantor Pusat United States Department of Energy (DOE)

Sistem geothermal memanfaatkan panas yang disimpan di dalam tanah untuk pemanasan dan pendinginan bangunan. Sistem ini bekerja dengan memompa fluida ke dalam tanah melalui pipa-pipa yang ditanam di bawah tanah, kemudian memanfaatkan suhu konstan di bawah permukaan bumi untuk menghangatkan atau mendinginkan bangunan.

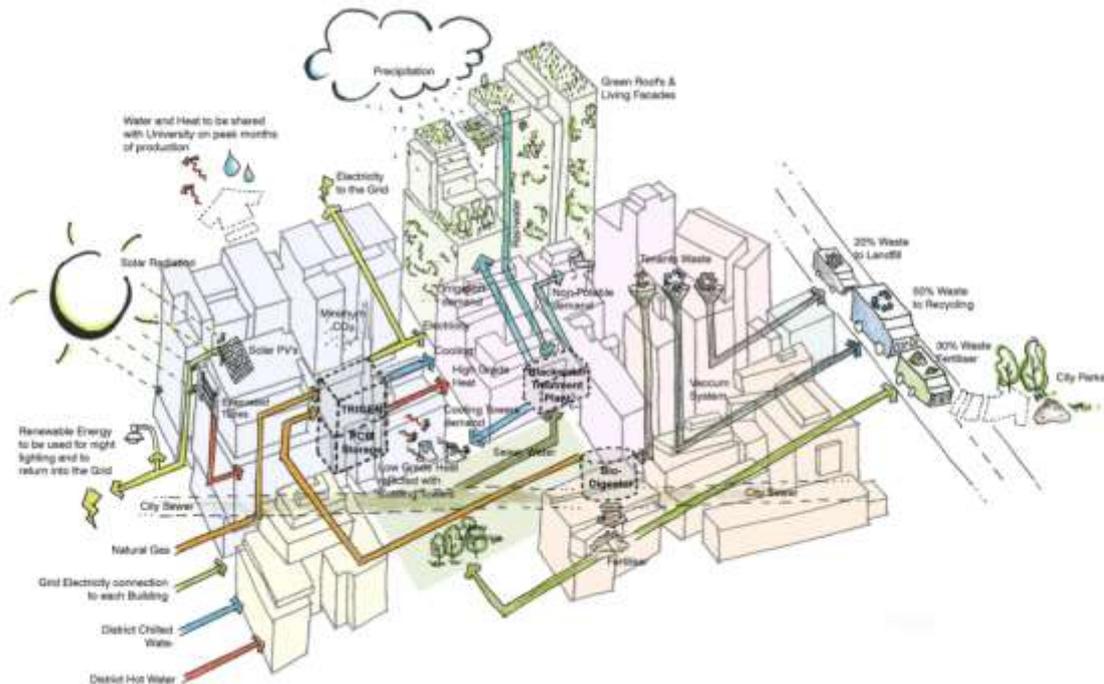


Gambar 2 Alur Pemanas dan Pendingin dengan sistem Geotermal [8]

Di kantor pusat United States Department of Energy (DOE), sistem pemanas dan pendingin geothermal digunakan untuk menjaga suhu interior bangunan tetap nyaman sepanjang tahun tanpa bergantung pada sistem HVAC konvensional. Sistem ini memanfaatkan stabilitas suhu tanah yang berada di kedalaman tertentu, yang lebih rendah dibandingkan suhu udara luar di musim panas dan lebih tinggi di musim dingin. Pemanfaatan teknologi ini mengurangi konsumsi energi hingga 50%, menjadikannya solusi ideal untuk bangunan besar yang memerlukan kontrol suhu sepanjang tahun [7].

#### Kombinasi Solar dan Geothermal pada *One Central Park* di Sydney, Australia

Integrasi teknologi solar dan geothermal menawarkan manfaat sinergis dalam desain bangunan berkelanjutan. Sementara teknologi solar menghasilkan energi listrik yang bersih dan dapat diandalkan di siang hari, sistem geothermal menyediakan solusi pemanasan dan pendinginan yang efisien sepanjang hari, termasuk di malam hari atau ketika cuaca mendung. Kombinasi ini menciptakan redundansi energi yang sangat penting untuk mencapai *net zero energy* atau bangunan nol energi bersih.



**Gambar 3** Sistem Berkelanjutan pada *One Central Park, Sidney* [8]

Salah satu contoh terbaik dari integrasi ini dapat dilihat pada *One Central Park* di Sydney, Australia (Gambar 8). Proyek ini mendaur ulang 95% bahan bangunan, termasuk bahan pembongkaran.



**Gambar 4** Atelier Jean Nouvel Residential & Retail Tower, Central Park Sydney [8]

Proyek Ini memiliki unit pengolahan air hitam dengan kapasitas 1 ml per hari dan pembangkit listrik tiga generasi dengan unit pemanas dan pemanas distrik. Selain itu, kekurangan air dipenuhi dengan

mengekspor sejumlah besar air desalinasi ke air minum yang diimpor dari pembangkit listrik. Eksterior ramah lingkungan saat ini mungkin akan mengejutkan orang yang melihatnya karena pembangkit listrik kogenerasi berkapasitas 5 MW berupaya mengurangi emisi karbon di lokasi tersebut sebesar 60%. Panel surya pada atap bangunan digunakan untuk menghasilkan listrik, sementara sistem geothermal bertanggung jawab atas pengendalian suhu di dalam bangunan. Dengan memadukan kedua sistem ini, bangunan tersebut dapat mempertahankan lingkungan yang nyaman bagi penghuni sekaligus mengurangi jejak karbon secara signifikan. Keberhasilan proyek ini membuktikan bahwa kombinasi solar dan geothermal dapat diimplementasikan di daerah perkotaan dengan lahan terbatas, tanpa mengorbankan efisiensi energi atau estetika desain.

### Tantangan dan Peluang

Meskipun banyak keuntungan dari integrasi teknologi solar dan geothermal, penerapannya masih menghadapi beberapa tantangan. Biaya awal yang tinggi untuk instalasi panel surya dan sistem geothermal sering kali menjadi hambatan utama bagi banyak proyek, terutama di negara-negara berkembang. Selain itu, dukungan regulasi yang belum memadai di beberapa negara juga memperlambat adopsi teknologi ini. Namun, dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan dan adanya insentif pemerintah, tantangan ini secara bertahap dapat diatasi.

Di sisi lain, perkembangan teknologi dan inovasi dalam konstruksi, seperti penggunaan material yang lebih ringan dan efisien serta penerapan *smart grid* untuk manajemen energi, membuka peluang baru dalam integrasi sistem energi terbarukan. Teknologi bangunan pintar (*smart building*) yang dapat mengoptimalkan penggunaan energi dari panel surya dan geothermal juga memberikan solusi tambahan untuk meningkatkan efisiensi operasional bangunan.

Dalam konteks Indonesia, yang terletak di wilayah tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun, pemanfaatan energi surya memiliki potensi besar. Selain itu, beberapa daerah di Indonesia, seperti kawasan vulkanik di Sumatra dan Sulawesi, memiliki potensi untuk memanfaatkan energi geothermal yang melimpah. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini masih terbatas karena biaya awal yang tinggi dan kurangnya infrastruktur pendukung. Namun, dengan adanya inisiatif pemerintah untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan melalui regulasi dan insentif, potensi ini diharapkan dapat lebih terealisasi di masa depan.

Di Bali, terdapat proyek *Bambu Indah* yang memanfaatkan solar untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari.



Gambar 5 - Hotel Bambu Indah, Ubud-Bali [9]

Meskipun belum menggabungkan sistem geothermal, proyek ini menunjukkan bagaimana energi surya dapat dimanfaatkan dalam arsitektur lokal dengan memadukan teknologi modern dan desain yang kontekstual. Proyek-proyek serupa di masa depan dapat lebih mengintegrasikan sistem geothermal, terutama di kawasan vulkanik seperti Jawa dan Sumatra.

Integrasi teknologi solar dan geothermal dalam arsitektur hijau menawarkan solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk tantangan energi modern. Meskipun masih ada tantangan, perkembangan teknologi dan kebijakan yang mendukung dapat mendorong adopsi lebih luas, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Aplikasi nyata dari teknologi ini menunjukkan bahwa desain bangunan berkelanjutan bukan hanya soal mengurangi konsumsi energi, tetapi juga menciptakan lingkungan hidup yang lebih sehat dan lebih nyaman bagi penghuninya.

## KESIMPULAN

Integrasi teknologi energi terbarukan, seperti energi surya dan geothermal, dalam desain arsitektur bangunan hijau menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan menurunkan emisi karbon. Teknologi solar menyediakan sumber energi listrik yang bersih dan melimpah, sementara sistem geothermal memberikan solusi hemat energi untuk pemanasan dan pendinginan bangunan. Kombinasi kedua teknologi ini mampu menciptakan bangunan dengan efisiensi energi tinggi, memperpanjang umur bangunan, serta meningkatkan kualitas hidup penghuninya. Aplikasi nyata dari integrasi ini terlihat dalam berbagai proyek, seperti Bullitt Center di Seattle yang memanfaatkan panel surya untuk suplai listrik dan gedung DOE yang menggunakan sistem geothermal untuk pengaturan suhu. Kombinasi solar dan geothermal juga terbukti efektif dalam proyek One Central Park di Sydney, yang menunjukkan bagaimana kedua teknologi ini dapat diimplementasikan di lingkungan perkotaan untuk mencapai bangunan nol energi bersih.

Namun, tantangan seperti biaya awal yang tinggi dan keterbatasan regulasi masih menjadi penghalang untuk adopsi yang lebih luas. Di Indonesia, potensi energi terbarukan, terutama solar dan geothermal, sangat besar, tetapi implementasinya masih memerlukan dorongan dari segi infrastruktur dan kebijakan. Dengan perkembangan teknologi dan dukungan pemerintah, potensi ini diharapkan dapat dimanfaatkan secara optimal dalam menciptakan arsitektur yang lebih berkelanjutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Sartori, A. Napolitano, and K. Voss, "Net zero energy buildings: A consistent definition framework," *Energy Build.*, vol. 48, pp. 220–232, 2012.
- [2] J. W. Lund, D. H. Freeston, and T. L. Boyd, "Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review," *Geothermics*, vol. 40, no. 3, pp. 159–180, 2011.
- [3] S. Zhang, P. Huang, and Y. Sun, "A multi-criterion renewable energy system design optimization for net zero energy buildings under uncertainties," *Energy*, vol. 94, pp. 654–665, 2016.
- [4] A. G. Hestnes, "Building integration of solar energy systems," *Sol. energy*, vol. 67, no. 4–6, pp. 181–187, 1999.
- [5] D. M. Kammen and D. A. Sunter, "City-integrated renewable energy for urban sustainability," *Science (80-. )*, vol. 352, no. 6288, pp. 922–928, 2016.
- [6] P. C. Slorach and L. Stamford, "Net zero in the heating sector: Technological options and environmental sustainability from now to 2050," *Energy Convers. Manag.*, vol. 230, p. 113838, 2021.
- [7] J. Tan, "Bullitt Center Photos," 2013. <https://hammerandhand.com/field-notes/our-tour-of-the-bullitt-center-an-intro/#.UoZr9o2E7cF> (accessed Mar. 06, 2024).
- [8] "Geothermal Heating & Cooling." <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-heating-cooling> (accessed Mar. 03, 2024).
- [9] "Hotel Unik di Indonesia," 2017. Bambu Indah Hotel, Bali (accessed Mar. 03, 2024).