

**Mengintegrasikan Infrastruktur Hijau Dalam Desain Arsitektur : Menuju
Lingkungan Perkotaan yang Berkelanjutan dan Tangguh**

***Integrating Green Infrastructure into Architectural Design: Towards a
Sustainable and Resilient Urban Environment***

¹Aryani Widyakusuma

¹Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Borobudur, Jakarta, Indonesia

¹E-mail : aryaniwidyakusuma@borobudur.ac.id

ABSTRAK

Integrasi infrastruktur hijau dalam desain arsitektur telah muncul sebagai respons penting terhadap urbanisasi yang cepat, perubahan iklim, dan meningkatnya permintaan akan lingkungan yang berkelanjutan. Infrastruktur hijau mencakup solusi berbasis alam seperti atap hijau, taman vertikal, bioswales, trotoar permeabel, dan halaman dalam, yang bekerja secara sinergis untuk meningkatkan kinerja bangunan dan ketahanan perkotaan. Dalam praktik arsitektur, elemen-elemen ini memiliki banyak fungsi: mengatur iklim mikro, mengurangi konsumsi energi melalui isolasi dan peneduhan alami, meningkatkan pengelolaan air hujan dengan memfasilitasi infiltrasi, dan mengurangi efek pulau panas perkotaan. Pada saat yang sama, mereka memberikan manfaat ekologis dengan mendukung keanekaragaman hayati dan membangun kembali habitat alami di lingkungan yang padat bangunan. Dari perspektif sosial, integrasi ruang hijau dalam arsitektur meningkatkan kesejahteraan manusia dengan mendorong koneksi biofilik, menyediakan ruang komunal untuk interaksi, dan mendorong praktik berkelanjutan seperti pertanian perkotaan. Penelitian ini menyelidiki strategi implementasi infrastruktur hijau dalam desain arsitektur, menyoroti keseimbangan antara fungsionalitas, estetika, dan kinerja ekologis. Studi ini menekankan bahwa penerapan infrastruktur hijau bukan hanya pertimbangan lingkungan semata, tetapi juga pendekatan desain holistik yang selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Dengan menanamkan sistem alami ke dalam lingkungan binaan, arsitek dapat menciptakan ruang yang adaptif, tangguh, dan berpusat pada manusia yang berkontribusi pada pengelolaan lingkungan jangka panjang dan keberlanjutan perkotaan.

Kata kunci: infrastruktur hijau, desain arsitektur, arsitektur berkelanjutan, ketahanan perkotaan, adaptasi iklim

ABSTRACT

The integration of green infrastructure within architectural design has emerged as a critical response to rapid urbanization, climate change, and the increasing demand for sustainable environments. Green infrastructure encompasses nature based solutions such as green roofs, vertical gardens, bioswales, permeable pavements, and interior courtyards, which work synergistically to improve building performance and urban resilience. In architectural practice, these elements serve multiple functions: they regulate microclimates, reduce energy consumption through natural insulation

and shading, enhance stormwater management by facilitating infiltration, and mitigate the urban heat island effect. At the same time, they provide ecological benefits by supporting biodiversity and re-establishing natural habitats within densely built environments. From a social perspective, the integration of green spaces within architecture enhances human well being by fostering biophilic connections, providing communal spaces for interaction, and encouraging sustainable practices such as urban agriculture. This research investigates the implementation strategies of green infrastructure in architectural design, highlighting the balance between functionality, aesthetics, and ecological performance. The study emphasizes that the adoption of green infrastructure is not merely an environmental consideration but a holistic design approach that aligns with sustainable development goals. By embedding natural systems into the built environment, architects can create adaptive, resilient, and human centered spaces that contribute to long term environmental stewardship and urban sustainability.

Kata kunci: *green infrastructure, architectural design, sustainable architecture, urban resilience, climate adaptation*

PENDAHULUAN

Laju urbanisasi yang pesat dan dampak perubahan iklim yang semakin meningkat telah memberikan tekanan yang semakin besar pada kota-kota untuk mengadopsi strategi desain berkelanjutan. Pendekatan arsitektur konvensional, yang seringkali memprioritaskan efisiensi dan kepadatan, tidak lagi cukup untuk mengatasi tantangan lingkungan, sosial, dan ekologis dari lingkungan perkotaan kontemporer. Dalam konteks ini, infrastruktur hijau telah muncul sebagai solusi penting yang mengintegrasikan sistem alami ke dalam lingkungan binaan, memberikan manfaat ekologis dan berpusat pada manusia.

Infrastruktur hijau dalam arsitektur mencakup berbagai strategi, termasuk atap hijau, taman vertikal, bioswales, trotoar permeabel, dan halaman dalam. Elemen-elemen ini tidak hanya meningkatkan kinerja bangunan tetapi juga berkontribusi pada ketahanan perkotaan dengan mengatur iklim mikro, mengurangi permintaan energi, dan meningkatkan pengelolaan air hujan. Lebih lanjut, penggabungan vegetasi dan sistem alami ke dalam desain arsitektur membantu mengurangi efek pulau panas perkotaan, mendorong keanekaragaman hayati, dan memulihkan fungsi ekologis di dalam kawasan perkotaan yang padat.

Di luar manfaat lingkungan, infrastruktur hijau mendorong kesejahteraan sosial dengan memperkuat koneksi biofilik, menciptakan ruang komunal, dan mendorong praktik berkelanjutan seperti pertanian perkotaan. Integrasi infrastruktur hijau dalam desain arsitektur selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan global, menawarkan kerangka kerja holistik yang menyeimbangkan estetika, fungsionalitas, dan kinerja ekologis. Penelitian ini mengeksplorasi strategi implementasi infrastruktur hijau dalam arsitektur, menekankan perannya sebagai pendekatan desain transformatif yang mampu membentuk lingkungan perkotaan yang adaptif, tangguh, dan berkelanjutan.

Strategi implementasi infrastruktur hijau dalam arsitektur mewakili lebih dari sekadar solusi desain teknis; strategi ini mencerminkan pendekatan transformatif terhadap lingkungan binaan. Dengan menanamkan sistem ekologis di dalam bangunan dan ruang kota, arsitek dapat mengatasi tantangan lingkungan yang mendesak sekaligus meningkatkan kesejahteraan manusia. Strategi tersebut menekankan keseimbangan antara estetika, kinerja, dan keberlanjutan, memposisikan infrastruktur hijau sebagai paradigma desain yang melampaui praktik konvensional. Makalah ini mengkaji bagaimana strategi ini dapat diintegrasikan secara efektif ke dalam desain arsitektur, menyoroti potensinya untuk membentuk lingkungan perkotaan yang adaptif, tangguh, dan berkelanjutan yang selaras dengan pengelolaan ekologis jangka panjang dan tujuan pembangunan global.

Untuk kaitannya dengan infrastruktur hijau dalam arsitektur di antaranya adalah urbanisasi dan perubahan iklim telah mempercepat kebutuhan akan solusi berkelanjutan dalam arsitektur dan desain perkotaan. Metode konstruksi tradisional seringkali memprioritaskan efisiensi dan kepadatan, tetapi cenderung mengabaikan dampak ekologis dan sosial. Seiring dengan terus berkembangnya kota, tantangan seperti peningkatan suhu, banjir akibat air hujan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan menurunnya kesejahteraan manusia menjadi semakin mendesak. Untuk mengatasi masalah ini, integrasi infrastruktur hijau ke dalam desain arsitektur telah muncul sebagai respons yang berwawasan ke depan.

Infrastruktur hijau mencakup strategi seperti atap hijau, taman vertikal, bioswales, trotoar permeabel, dan halaman dalam. Solusi berbasis alam ini memberikan banyak manfaat secara bersamaan: mengatur iklim mikro, mengurangi konsumsi energi, meningkatkan pengelolaan air hujan, dan mengurangi efek pulau panas perkotaan. Pada saat yang sama, solusi ini memulihkan fungsi ekologis dengan menciptakan habitat bagi keanekaragaman hayati dan memperkenalkan kembali sistem alami ke lingkungan perkotaan yang padat.

Di luar kinerja lingkungan, infrastruktur hijau meningkatkan kesejahteraan manusia dengan mendorong koneksi biofilik, menawarkan ruang komunal untuk interaksi sosial, dan mendorong gaya hidup berkelanjutan seperti pertanian perkotaan. Unsur-unsur ini mengubah arsitektur menjadi praktik yang berpusat pada manusia yang mempromosikan kota yang lebih sehat dan layak huni.

Studi ini meneliti strategi implementasi infrastruktur hijau dalam arsitektur, menekankan perannya sebagai pendekatan desain transformatif yang mampu membentuk lingkungan perkotaan yang adaptif, tangguh, dan berkelanjutan. Dengan menganalisis hubungan antara kinerja ekologis, fungsionalitas, dan estetika, penelitian ini menyoroti bagaimana arsitek dapat mengintegrasikan infrastruktur hijau sebagai kerangka kerja holistik yang mendukung tujuan keberlanjutan jangka panjang.

MATERI DAN METODE

Desain Penelitian

Studi ini menggunakan desain penelitian kualitatif dengan pendekatan analitis deskriptif. Fokusnya adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi strategi implementasi infrastruktur hijau dalam desain arsitektur. Dengan menggabungkan tinjauan pustaka, analisis studi kasus, dan wawasan ahli, penelitian ini bertujuan untuk menyoroti pendekatan praktis dan implikasinya terhadap keberlanjutan, ketahanan, dan kesejahteraan manusia.

Pengumpulan Data

1. Tinjauan Pustaka – Jurnal akademik, buku, dan laporan tentang infrastruktur hijau, arsitektur berkelanjutan, dan ketahanan perkotaan diteliti untuk membangun kerangka teoritis. Tema-tema utama yang dieksplorasi meliputi kinerja ekologis, efisiensi energi, pengaturan iklim mikro, dan desain biofilik.

2. Studi Kasus – Proyek arsitektur terpilih yang telah berhasil mengintegrasikan elemen infrastruktur hijau (misalnya, atap hijau, taman vertikal, bioswales, perkerasan permeabel, dan halaman dalam) dianalisis. Kriteria pemilihan meliputi konteks geografis, kondisi iklim, skala, dan tipologi.

3. Wawancara Pakar – Wawancara semi terstruktur dengan arsitek, perencana kota, dan pakar keberlanjutan dilakukan untuk mendapatkan perspektif profesional tentang tantangan, peluang, dan praktik terbaik dalam implementasi infrastruktur hijau.

Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan pendekatan tematik, dengan fokus pada tiga dimensi inti:

- Fungsionalitas: strategi yang meningkatkan kinerja bangunan (efisiensi energi, pengelolaan air hujan, mitigasi panas).
- Kinerja Ekologis: strategi yang memulihkan habitat alami, mendukung keanekaragaman hayati, dan meningkatkan ekosistem perkotaan.
- Dampak Sosial: strategi yang meningkatkan kesejahteraan, mendorong interaksi sosial, dan menumbuhkan gaya hidup berkelanjutan.

Temuan dari literatur, studi kasus, dan wawancara pakar dibandingkan untuk mengidentifikasi pola yang berulang dan praktik inovatif. Triangulasi ini memastikan validitas dan reliabilitas hasil.

Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Studi ini terbatas pada proyek arsitektur yang secara eksplisit menggabungkan elemen infrastruktur hijau. Studi ini tidak mencakup infrastruktur hijau skala perkotaan yang lebih luas seperti taman besar atau koridor ekologis regional, melainkan berfokus pada solusi skala bangunan dan terintegrasi lokasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengidentifikasi beberapa strategi kunci untuk menerapkan infrastruktur hijau dalam desain arsitektur:

1. Atap Hijau dan Taman Vertikal

Studi kasus menunjukkan bahwa atap hijau dan dinding hidup secara signifikan mengurangi penyerapan panas, meningkatkan insulasi alami, dan berkontribusi pada retensi air hujan. Wawancara dengan para ahli menekankan peran mereka dalam mengurangi efek pulau panas perkotaan dan memberikan nilai estetika dalam konteks perkotaan yang padat.

2. Desain yang Sensitif terhadap Air

Saluran bio, taman hujan, dan trotoar permeabel muncul sebagai metode yang efektif untuk pengelolaan air hujan. Sistem ini meningkatkan infiltrasi, mengurangi limpasan permukaan, dan mendukung penggunaan kembali air hujan untuk irigasi, sehingga menurunkan ketergantungan pada pasokan air kota.

3. Halaman Dalam dan Ruang Hijau Komunal

Temuan menunjukkan bahwa mengintegrasikan halaman dalam dan taman komunal mendorong interaksi sosial, memperkuat koneksi biofilik, dan mendukung pertanian perkotaan. Ruang-ruang tersebut berulang kali disebutkan dalam literatur dan wawancara sebagai hal penting untuk meningkatkan kesejahteraan pengguna dan mendorong partisipasi masyarakat.

4. Sinergi Kinerja

Analisis mengungkapkan bahwa proyek-proyek yang paling sukses menggabungkan beberapa strategi infrastruktur hijau, menghasilkan manfaat sinergis untuk fungsionalitas, kesehatan ekologis, dan dampak sosial. Pendekatan terintegrasi ini terbukti lebih efektif daripada penerapan elemen desain hijau secara terisolasi.

Hasilnya menyoroti bahwa infrastruktur hijau bukan hanya solusi teknis tetapi paradigma desain transformatif. Dari perspektif fungsional, strategi seperti atap hijau, sistem peneduh, dan desain yang peka terhadap air menunjukkan peningkatan terukur dalam kinerja bangunan, termasuk pengurangan konsumsi energi dan peningkatan pengaturan iklim mikro. Dari perspektif ekologis, integrasi vegetasi dan sistem air berkontribusi pada pemulihan keanekaragaman hayati dan membangun kembali proses ekologis di lingkungan perkotaan. Terakhir, dari perspektif sosial, infrastruktur hijau meningkatkan kesejahteraan, mendukung kegiatan budaya seperti berkebun komunitas, dan memelihara gaya hidup perkotaan yang berkelanjutan [27].

Diskusi penting yang muncul dari temuan ini adalah keseimbangan antara estetika, biaya, dan kinerja. Meskipun atap hijau dan taman vertikal meningkatkan daya tarik visual, pemeliharaan dan biaya awalnya tetap menjadi hambatan dalam banyak konteks [26]. Namun, wawancara dengan para ahli menunjukkan bahwa penghematan energi jangka panjang dan manfaat ekologis seringkali lebih besar daripada investasi finansial, terutama jika didukung oleh insentif pemerintah atau kebijakan desain berkelanjutan.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa infrastruktur hijau selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan global (SDGs), khususnya yang berkaitan dengan kota berkelanjutan, aksi iklim, serta kesehatan dan kesejahteraan. Dengan menanamkan sistem alam dalam arsitektur, arsitek dapat menciptakan lingkungan yang adaptif dan tangguh yang mampu merespons perubahan iklim sekaligus mendorong hubungan antara manusia dan alam.



Gambar 1. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan menurut PBB
(Sumber : <https://www.worldvision.org.uk>)

Secara keseluruhan, diskusi ini memperkuat bahwa penerapan infrastruktur hijau dalam arsitektur mewakili pendekatan desain yang holistik dan berorientasi masa depan. Keberhasilannya bergantung pada kolaborasi interdisipliner, dukungan kebijakan, dan kemauan para arsitek dan pemangku kepentingan perkotaan untuk memandang keberlanjutan sebagai komitmen terpadu dan jangka panjang.

1. Desain Biomimikri dan Biofilik dalam Infrastruktur Ramah Lingkungan

Memasukkan sistem alami ke dalam arsitektur melalui biomimikri dan desain biofilik akan meningkatkan keberlanjutan, efisiensi, dan kesehatan manusia dengan mengambil inspirasi langsung dari prinsip-prinsip alam. Biomimikri menerapkan strategi alam yang telah lama teruji untuk menciptakan solusi arsitektur inovatif dan berdampak rendah, seperti fasad yang terinspirasi oleh struktur tanaman untuk pendinginan pasif atau sistem pengelolaan air yang meniru siklus hidrologi alami.

Desain biofilik, di sisi lain, memperkuat hubungan alam manusia dengan memasukkan unsur-unsur alami seperti vegetasi, fitur air, bahan organik, dan cahaya alami ke dalam ruang arsitektur. Pendekatan-pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kinerja bangunan tetapi juga menumbuhkan kesejahteraan psikologis, mengurangi stres, dan mendorong rasa harmoni antara manusia dan lingkungan [23]. Dalam kerangka infrastruktur hijau, biomimikri dan desain biofilik berfungsi sebagai strategi pelengkap yang melampaui estetika, menawarkan solusi adaptif dan tangguh yang selaras dengan sistem ekologi dan mendukung keberlanjutan perkotaan jangka panjang.

2. Mengintegrasikan Habitat Alam ke dalam Desain Arsitektur

Bangunan bertanggung jawab atas lebih dari 40% emisi gas rumah kaca di seluruh dunia. Hal ini menekankan betapa mendesaknya kita harus mengubah cara kita membangun. "Bangunan hidup" memadukan infrastruktur ramah lingkungan, desain berkelanjutan, dan arsitektur biofilik dengan sempurna. Mereka membawa alam dan struktur buatan manusia ke dalam harmoni [24].

Strategi ini lebih dari sekadar konstruksi berkelanjutan. Hal ini bertujuan untuk memperkuat hubungan antara manusia dan alam serta meningkatkan keanekaragaman hayati perkotaan [8]. Hal-hal menakjubkan sedang dicapai oleh para pencipta setelah Living Building Challenge. Mereka merancang dan membangun bangunan menarik yang menghasilkan energi, mendaur ulang air, dan bekerja pada efisiensi puncaknya. Struktur ini berkisar dari konstruksi baru hingga renovasi. Masing-masing dari mereka memilih kategori Transek Hidup, seperti zona inti perkotaan atau cagar habitat alami. Keputusan ini menjamin bahwa desain sesuai dengan lingkungan lokal dan persyaratan unik lokasi.

Beberapa Poin Penting :

- Untuk mencapai keseimbangan antara dunia alami dan dunia konstruksi, bangunan tempat tinggal menggunakan konsep desain berkelanjutan dan ekosistem alami.
- Pengembangan bangunan mutakhir dan ramah lingkungan berpedoman pada Living Building Challenge.
- Berbagai jenis bangunan hidup dibuat untuk dimasukkan ke dalam kategori "Transek Hidup" yang berbeda-beda.
- Meningkatkan keanekaragaman hayati perkotaan dan memperkuat hubungan antara manusia dan alam adalah tujuan arsitektur biofilik dan desain yang terinspirasi dari alam.
- Produksi energi terbarukan, konservasi air, dan pengoperasian yang efisien merupakan karakteristik penting dari bangunan tempat tinggal.

3. Tinjauan Struktur Hidup

Bangunan biasanya dibangun dengan sedikit memperhatikan lingkungan. Mereka hanya memperhatikan harga, kenyamanan, dan fungsionalitas. Namun, banyak hal terus berkembang. Bangunan-bangunan ini berusaha untuk menjadi ramah lingkungan seiring dengan semakin populernya desain berkelanjutan. Metode inovatif ini mendorong pengembangan struktur yang melengkapi dan bahkan menyempurnakan lingkungan sekitar.

Melihat bangunan sebagai komponen ekosistem yang lebih besar adalah salah satu gagasan utama di balik hal ini. Jenis bangunan baru bermunculan sebagai hasil dari pandangan ini. Mereka didasarkan pada konsep arsitektur adaptif, restoratif, regeneratif, dan hidup [9]. Ini dibangun menggunakan teknologi dan taktik yang lebih dari sekedar estetika. Dengan mengonsumsi lebih sedikit energi dan menghasilkan lebih sedikit limbah, mereka benar-benar memberikan manfaat bagi lingkungan.

Bangunan tempat tinggal, misalnya, menyatu dengan lingkungannya tanpa membahayakannya. Mereka menggabungkan alam ke dalam desainnya, menghemat air, dan menggunakan energi terbarukan. Mereka berusaha untuk kembali ke alam sebanyak yang mereka terima dengan cara ini. Metode ini mewakili perubahan signifikan dalam pemahaman kita tentang bangunan. Ini membayangkan masa ketika alam dan bangunan hidup berdampingan [25]. Dengan demikian, mereka meningkatkan kualitas hidup semua orang di planet ini.

Tabel 1. Fitur-fitur pada Bangunan Ramah Lingkungan

Feature	Traditional Buildings	Living Buildings
Sumber Energi:	Ketergantungan pada listrik yang disuplai jaringan dan bahan bakar fosil	Pembangkit energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, dan panas bumi
Pengelolaan Air:	Ketergantungan pada pasokan air kota dan pengolahan air limbah	Pengumpulan, pengolahan, dan daur ulang air di lokasi untuk dampak air yang positif
Dampak Lingkungan:	Pengabaian terhadap habitat dan ekosistem alami	Integrasi dengan dan restorasi lingkungan alami
Otonomi Bangunan:	Ketergantungan pada infrastruktur eksternal dan sistem utilitas	Pengoperasian mandiri dan otonom

(Source : author analysis, 2025)

Dasar-Dasar Struktur Hidup

Konsep "bangunan hidup" adalah pendekatan baru dalam arsitektur. Semuanya bermuara pada perancangan struktur yang menyatu dengan lingkungan. Struktur ini mandiri dan tidak memerlukan pasokan air atau listrik seperti bangunan pada umumnya. Sebaliknya, mereka berupaya menggunakan sumber daya dan energi terbarukan untuk memberikan kembali sebanyak yang mereka terima.

3.1. Komponen Desain Berkelanjutan

Sebuah bangunan harus berperilaku seperti alam agar dianggap sepenuhnya hidup. Bangunan tersebut harus memanfaatkan sinar matahari, angin, dan hujan untuk memenuhi kebutuhannya. Dengan cara ini, struktur tersebut menjadi bagian dari lingkungan daripada menyebabkan kerusakan padanya.

3.2. Keuntungan Struktur Hunian

Ada banyak manfaat bangunan hidup di bidang sosial, ekonomi, dan lingkungan. Dengan menggunakan desain berkelanjutan dan lingkungan alami, bangunan hidup membuat kehidupan lebih baik bagi semua orang. Ini berlaku untuk planet kita dan penghuninya.

3.3 Keuntungan bagi Lingkungan

Bangunan hidup dapat mendorong dan melindungi keanekaragaman hayati dan ekosistem [7]. Mereka juga mengurangi aliran limbah dan meningkatkan kualitas udara dan air. Untuk menjaga ekosistem yang lebih baik, mereka berupaya

melindungi dan mengisi kembali sumber daya alam. Akibatnya, mereka memiliki dampak yang lebih kecil terhadap lingkungan.

3.4. Keuntungan Finansial

Selain itu, ada keuntungan finansial dari struktur hunian. Dengan memanfaatkan sumber daya mereka secara bijak, mereka dapat mengurangi biaya operasional. Selain itu, mereka membantu dalam pengembangan, pertumbuhan, dan pembentukan pasar untuk barang dan jasa ramah lingkungan. Orang-orang yang bekerja di gedung-gedung ini lebih produktif. Selain itu, mereka memiliki dampak yang menguntungkan pada manfaat finansial jangka panjang.

3.5. Kesulitan dalam Membangun Struktur Hunian

Bagi individu yang ingin membangun gedung dengan energi nol bersih, menciptakan struktur hunian dapat menjadi tantangan. Salah satu masalah utama yang sering disebutkan adalah biaya bangunan hunian yang tinggi. Penggunaan energi terbarukan, kepatuhan terhadap standar hijau yang ketat, dan konstruksi yang mendorong pertumbuhan kehidupan itu sendiri adalah alasan tingginya biaya ini.

Hambatan utama lainnya adalah menemukan bahan bangunan yang berkelanjutan. Banyak bahan bangunan yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Mengurangi dampak terhadap lingkungan dapat dicapai dengan menggunakan bahan-bahan yang bersumber dari lokal.

Namun, diperkirakan biaya struktur hunian akan menurun seiring dengan semakin banyaknya teknologi hijau yang digunakan. Masa depan yang lebih cerah dijanjikan oleh pergeseran ke praktik bangunan berkelanjutan ini. Akibatnya, lebih banyak proyek akan dapat menggunakan struktur hunian.

3.6. Desain Biofilik dan Struktur Hunian

Konsep desain bangunan dan keberlanjutan digabungkan dalam arsitektur ekologis. Tujuannya adalah untuk membuat struktur selaras dengan lingkungan. Ini mencakup meminimalkan kerusakan lingkungan dan berupaya menuju masa depan yang lebih ramah lingkungan. Ini menekankan pengurangan emisi karbon, penghematan energi, dan menciptakan area yang disukai oleh alam.

3.7. Berhubungan dengan Alam

Bangunan dan alam diseimbangkan dalam arsitektur biofilik. Ini digunakan oleh arsitek untuk membuat struktur menyatu dengan lingkungannya. Dengan cara ini, satwa liar, air, dan pepohonan tetap aman. Ini adalah metodologi desain yang dikenal sebagai desain biofilik. Dengan membawa alam terbuka ke dalam ruang-ruang yang dibangun, tujuannya adalah untuk menumbuhkan rasa keterkaitan antara manusia dan dunia alam.



Gambar 2. Membawa unsur-unsur luar ruangan ke dalam ruang yang dibangun
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

Dalam arsitektur biofilik, air digunakan untuk meningkatkan kesejahteraan dengan menggabungkan pengalaman sensorik dan kualitas restoratif alam ke dalam bangunan. Ini melibatkan pengintegrasian elemen air visual, auditori, dan taktil seperti air mancur, aliran air, kolam refleksi, atau bahkan dinding air untuk menciptakan lingkungan yang menenangkan, dinamis, dan menyegarkan. Dengan melibatkan indra melalui suara, gerakan, dan pemandangan air, desain biofilik menggunakan air untuk meningkatkan kesehatan mental dan emosional, mengurangi stres, meningkatkan fokus, dan menumbuhkan hubungan yang lebih dalam dengan alam.

Bagaimana Unsur Air Dapat Digunakan dalam Desain Biofilik:

- Koneksi Sensorik:

Air memberikan pengalaman visual (gerakan, pantulan), auditori (suara air mengalir), dan taktil yang membangkitkan ketenangan dan pemulihan.



Gambar 3. Gedung Gereja di Tepi Air
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

- Suasana Menenangkan:

Suara lembut air mengalir dapat menciptakan latar belakang yang menenangkan, menutupi suara yang tidak diinginkan, dan menumbuhkan lingkungan yang tenang dan kondusif untuk relaksasi.



Gambar 4. Museum Seni Kontemporer "The Oval" di Naoshima-Kagawa, Jepang
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

- Peningkatan Kualitas Udara:

Fitur air, terutama kolam atau kolam renang dalam ruangan, dapat berkontribusi pada iklim mikro dengan melembabkan udara, meningkatkan kenyamanan dalam ruangan secara keseluruhan.



Gambar 5. Bandara Changi Jewel Singapura
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

- Elemen Dinamis:

Fitur air menambahkan kualitas dinamis dan reflektif pada ruang, membawa gerakan dan kehidupan ke lingkungan yang statis.

Museum Seni Modern Fort Worth mencontohkan karya arsitek Jepang Tadao Ando melalui geometri sederhananya, penggabungan lingkungan alami, dan pemilihan material yang sangat minimal. Lima paviliun panjang beratap datar tampak mengapung di atas kolam refleksi seluas 1,5 hektar, yang mengingatkan pada proyek-proyek Ando lainnya. Dibangun hanya dengan beton, baja, aluminium, kaca, dan granit, museum ini tercermin sempurna di kolam sekitarnya. Pohon-pohon dan perbukitan yang indah mengelilingi museum, yang merupakan ciri khas arsitektur Ando. Melalui desainnya yang murni, museum ini memiliki kehadiran yang mencolok sebagai karya seni modern.



Gambar 6. Museum Seni Modern Fort Worth
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

Lingkungan menjadi seindah karya seni yang dipamerkan museum, karena sangat terjalin dengan ruang pameran melalui jendela-jendela besar [21]. Kaca dan air sangat saling melengkapi, karena kolam yang tenang memantulkan ruang seperti halnya kaca memantulkan air. Dengan menggunakan kaca sebagai dinding, secara fisik terdapat penghalang, perlindungan dari luar, tetapi secara visual tidak ada batasan antara luar dan dalam. Ada juga cahaya yang terpancar dari air melalui kaca yang menunjukkan kurangnya batasan dan dapat membuat kehadirannya terasa di dinding.

Contoh Fitur Air:

- Air Mancur dan Air Terjun:

Air mancur dalam ruangan kecil atau dinding air dan air terjun yang lebih rumit menghadirkan fluiditas cairan ke dalam lingkungan.

- Kolam dan Kolam Pemantul:

Fitur-fitur ini menciptakan permukaan yang tenang dan reflektif yang meningkatkan pengalaman sensorik suatu ruang.

- Akuarium dan Dinding Air:

Mengintegrasikan akuarium atau fitur air vertikal dapat memberikan koneksi visual langsung ke elemen air.

- Air di Kamar Mandi:

Suara pancuran air terjun atau pemandangan wastafel minimalis yang ramping dengan air yang mengalir dapat menciptakan suasana yang menenangkan dan menyegarkan.

Manfaat Mengintegrasikan Air :

- Pengurangan Stres:

Penelitian menunjukkan bahwa pemandangan alam, termasuk air, dapat menurunkan kadar kortisol, detak jantung, dan tekanan darah.

- Peningkatan Kognitif:

Paparan terhadap lingkungan biofilik, termasuk fitur air, dapat meningkatkan memori jangka pendek, rentang perhatian, dan kinerja kognitif.

- Kualitas Pemulihan:

Kualitas air yang menenangkan dan memulihkan membantu memulihkan fokus mental dan mendorong respons emosional yang positif.

- Keanekaragaman Hayati:

Di lingkungan luar ruangan, fitur air juga dapat menarik burung dan satwa liar lainnya, yang selanjutnya meningkatkan keanekaragaman hayati.



Gambar 7. Rumah di Atas Air Terjun karya Frank Lloyd Wright
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

4. Mengintegrasikan Lingkungan Alami ke dalam Arsitektur

Orang lebih selaras dengan alam ketika habitat alami dimasukkan ke dalam desain bangunan. Arsitek menciptakan area seperti taman dan atap hijau. Mereka juga berupaya melindungi area alami. Baik ekosistem maupun kesehatan manusia mendapat manfaat dari hal ini. Desain ini bermanfaat bagi flora dan fauna lokal selain manusia.



Gambar 8. Habitat alami dimasukkan ke dalam desain bangunan
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

4.1. Material dan Metode Konstruksi

Untuk melestarikan planet kita, bangunan berkelanjutan sangat penting. Ini memastikan bahwa struktur menyatu dengan lingkungan alami sekaligus berkontribusi pada keselamatan lingkungan. Memilih material bangunan yang tidak beracun dan berkelanjutan sangat penting. Material tersebut meningkatkan kesehatan lingkungan dalam ruangan.



Gambar 9. Hutan Vertikal – Bosco Verticale
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

4.2. Material yang Tidak Beracun dan Berkelanjutan

Saat memilih cat, lantai, dan insulasi, arsitek biasanya mencari material yang tidak beracun. Mereka menyukai lantai alami, insulasi hijau, dan cat dengan senyawa organik volatil rendah. Keputusan ini meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Selain itu, mereka juga mempromosikan tujuan arsitektur berkelanjutan.

Bahan Daur Ulang dan Bersumber Lokal

Dalam bangunan hijau, sumber daya lokal sangat penting. Ini berarti memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara lokal. Hal ini mengurangi polutan dan energi yang dibutuhkan untuk transportasi [1]. Bahan umum meliputi bambu, batu alam, kayu daur ulang, dan dinding tanah. Selain bermanfaat bagi lingkungan, bahan-bahan ini memberikan struktur tampilan yang indah dan organik.

4.3. Efisiensi Energi pada Struktur Perumahan

Untuk membuat bangunan menjadi hijau, efisiensi energi sangat penting. Tujuan utamanya adalah menggunakan lebih sedikit energi dari sumber umum. Tata letak, ventilasi, dan insulasi yang tepat adalah contoh konsep desain pasif yang digunakan arsitek untuk menjaga suhu interior yang nyaman [22]. Mereka tidak memerlukan banyak peralatan pemanas atau pendingin untuk mencapai hal ini.

4.4. Sumber Energi Terbarukan

Bangunan dapat menghasilkan energi bersih sendiri dengan menggabungkan sumber energi terbarukan seperti sistem panas bumi, turbin angin, dan panel surya. Kita terus meningkatkan teknik penghematan energi berkat material dan teknologi baru [18]. Desain rumah pasif dan bangunan energi nol bersih mendorong batas-batas penghematan yang dapat kita capai.

4.5. Strategi untuk Desain Pasif

Kecerdasan buatan dan teknologi bangunan pintar juga memberikan dampak. Teknologi ini berkontribusi pada konsumsi energi yang lebih efisien, yang meningkatkan kenyamanan penghuni bangunan. Metode ini, yang dikenal sebagai teknologi bangunan hijau dan arsitektur berkelanjutan, menghasilkan hunian dan tempat kerja yang sangat hemat energi. Ini adalah model yang fantastis untuk desain ramah lingkungan di masa depan [4].

4.6. Konservasi dan Pengelolaan Air

Tujuan bangunan hidup adalah untuk menjadi lebih dari sekadar bangunan. Bangunan hidup memiliki dampak positif terhadap air karena mengumpulkan dan memurnikan airnya sendiri. Taktik penting meliputi pemurnian air, daur ulang, dan pengumpulan air hujan. Dengan kata lain, mereka mengurangi kebutuhan air mereka dengan mengumpulkan air hujan dan mengolahnya untuk penggunaan di masa mendatang [2].

Sistem pemanenan air hujan mengumpulkan air untuk berbagai fungsi, seperti menyirami tanaman dan bangunan. Sementara itu, sistem daur ulang air memurnikan dan menggunakan kembali air. Beban pada sumber daya air kota berkurang dengan inisiatif ini.

Oleh karena itu, penghematan air tidak hanya membantu melindungi lingkungan tetapi juga mengurangi beban pada utilitas di sekitarnya [17]. Melalui penggunaan prosedur khusus, struktur ini mengembalikan lebih banyak air daripada yang mereka serap.

4.7. Air yang memberi nilai tambah secara positif

Bagi struktur kontemporer, konsep air yang memberi nilai tambah secara positif sangat penting. Tujuan mereka adalah untuk mengisi kembali alam dengan lebih banyak air daripada yang mereka konsumsi. Mereka mencapai hal ini dengan mengolah air limbah, mendaur ulang air, dan mengumpulkan air hujan.

4.8. Daup Ulang dan Pemanenan Air

Pemanen air hujan sangat penting bagi struktur ini. Mereka mengurangi kebutuhan air dengan mengumpulkan dan menyimpan air hujan untuk digunakan di kemudian hari. Sementara itu, sistem daur ulang air mendaur ulang air limbah. Akibatnya, kota-kota membutuhkan lebih sedikit air. Bangunan hidup dapat menjadi penyedia air bersih dengan menerapkan langkah-langkah pengelolaan air berkelanjutan ini. Bangunan tersebut mengembalikan lebih banyak air ke bumi daripada yang dikonsumsi. Akibatnya, bangunan tersebut berkontribusi pada arsitektur ekologis yang bermanfaat bagi lingkungan.

4.9. Ruang Hijau dan Pertanian Perkotaan

Pelestarian alam dan keanekaragaman hayati sangat penting untuk membangun kota yang kuat dan berkelanjutan. Efek pulau panas diatasi dengan penggunaan area hijau seperti taman, kebun, dan atap hijau. Area hijau juga menyediakan habitat bagi satwa liar perkotaan dan membersihkan udara.

4.10. Pertanian Vertikal dan Kebun Atap

Dengan memperkenalkan makanan ke lingkungan perkotaan, adanya kebun atap dan pertanian vertikal telah mengubah kota [20]. Hal ini mengurangi permintaan akan sumber makanan yang berjarak jauh. Selain itu, hal ini juga dapat

meningkatkan keanekaragaman hayati dengan menambahkan lebih banyak variasi tumbuhan dan hewan ke pusat kota.

4.11. Meningkatkan Keanekaragaman Hayati

Tujuan arsitek dan perencana kota adalah untuk meningkatkan jumlah ruang alami di kota-kota kita. Hal ini meningkatkan kualitas hidup di kota dengan melestarikan dan menumbuhkan kembali ruang alami [19]. Lanskap ekologis merupakan upaya yang sangat penting untuk keberlanjutan desain perkotaan.

5. Konsep Bangunan Hidup dan Studi Kasus

Bangunan Hidup adalah pendekatan desain regeneratif yang meniru arsitektur berdasarkan proses alam. Pendekatan ini berupaya menciptakan struktur yang mandiri, tangguh, dan bermanfaat bagi lingkungan sekitarnya. Bangunan-bangunan ini menghasilkan lebih banyak energi daripada yang dikonsumsi, mengumpulkan dan memurnikan semua air yang digunakan, dan meningkatkan kesejahteraan penghuni melalui cahaya, udara, dan material alami. Konsep ini dipandu oleh Living Building Challenge (LBC), sertifikasi bangunan hijau paling ketat di dunia yang dikembangkan oleh International Living Future Institute (ILFI).

Konsep Bangunan Hidup mewakili standar tertinggi arsitektur berkelanjutan dan regeneratif. Terinspirasi oleh ekosistem alami, Bangunan Hidup dirancang untuk beroperasi sebagai organisme mandiri yang menghasilkan energinya sendiri, mengumpulkan dan memurnikan air, dan meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan penghuninya [16]. Living Building Challenge didasarkan pada tujuh area kinerja yang disebut Petals:

1. Tempat – Memulihkan lingkungan alami dan mendorong hubungan dengan alam.
2. Air – Menghasilkan surplus bersih melalui pengumpulan, penggunaan kembali, dan pemurnian.
3. Energi – Menghasilkan surplus bersih melalui sumber terbarukan.
4. Kesehatan+Kebahagiaan – Merancang untuk kenyamanan, kesejahteraan, dan koneksi antar manusia.
5. Material – Menggunakan material yang aman, tidak beracun, dan bersumber secara bertanggung jawab.
6. Kesetaraan – Mempromosikan keadilan sosial, akses universal.
7. Keindahan – Desain yang menginspirasi dan membangkitkan semangat yang merayakan budaya dan jiwa.

Beberapa contoh luar biasa dari bangunan hidup akan dibahas di bagian ini. Mereka menunjukkan Bagaimana desain hijau dan habitat alami dapat diintegrasikan ke dalam arsitektur. Pusat Lingkungan Terbangun (*Centre for the Built Environment* / CBE) kontemporer di Nova Scotia, Kanada, serta Perpustakaan Alexandria yang megah. Lokasi-lokasi ini menggunakan metode dan material yang cerdas. Mereka berkolaborasi dengan lingkungan untuk menciptakan struktur yang menyatu sempurna dengan lingkungan sekitarnya.

Perpustakaan Alexandria memadukan arsitektur dan alam dengan sempurna. Dengan desainnya, perpustakaan ini memberikan penghormatan kepada perpustakaan bersejarah. Bagian baru dari bangunan ini menampilkan material ramah lingkungan, atap hijau yang luas, dan atrium yang terang dan lapang.



Gambar 10. Perpustakaan Alexandria
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

Salah satu contoh terbaik bangunan net-zero di Kanada adalah Perpustakaan Alexandria. Bangunan ini telah disertifikasi sebagai bangunan hidup. Bangunan ini menggunakan sistem air inovatif, energi alami, dan desain yang cerdas. Struktur yang indah dan ramah lingkungan ditunjukkan oleh CBE (*Centre for the Built Environment*).



Gambar 11. Proyek Bangunan Welch Allyn
(Sumber : <https://www.architectmagazine.com>)

Bangunan yang lebih baik didorong oleh proyek-proyek ini dan proyek-proyek penting lainnya. Mereka memberikan panduan dan menetapkan standar untuk arsitektur hijau. Arsitek dan desainer dapat mempelajari cara menciptakan struktur yang ramah lingkungan dan ramah manusia dengan mempelajari bangunan-bangunan ini [15].

Tabel 1. Strategi Desain Hijau Bangunan di Dunia

Proyek	Lokasi	Strategi Desain	Sertifikasi
--------	--------	-----------------	-------------

Bibliotheca of Alexandria	Alexandria, Egypt	Desain biofilik, material lokal, atap hijau	Striving for living building certification
Centre for the Built Environment (CBE)	Nova Scotia, Canada	Energi nol bersih, desain pasif, sumber energi terbarukan, pengelolaan air	Living building certified
Jakarta International Stadium (JIS)	Tanjung Priok, North Jakarta	Konsep bangunan hijau sejak tahap awal; penggunaan material berkelanjutan, sistem energi efisien; penekanan pada penilaian lingkungan selama perencanaan dan pengembangan	Greenship Platinum
Sequis Tower	Jakarta (Sudirman CBD)	Desain terinspirasi oleh Banyan Tree; sirip peneduh untuk mengurangi panas matahari; taman atap, tanaman lokal; konektivitas lokasi yang efisien	LEED Platinum
West Vista at Puri	Cengkareng, Jakarta Barat	Penggunaan standar arsitektur dan konstruksi berkelanjutan; fitur bangunan hijau yang diakui di bawah Green Mark Singapura	Green Mark Gold
My Republic Plaza (Green Office Park 6)	BSD City, Tangerang, Banten	Sebagai gedung perkantoran: strategi yang mungkin termasuk sistem hemat energi, insulasi yang baik, lansekap hijau, pencahayaan dan HVAC yang efisien (Fitur detail desain yang digunakan tidak sepenuhnya dipublikasikan ke publik)	Greenship Existing Building ver.1.1 Platinum (Green Building Council Indonesia)
Alamanda Tower	Cilandak Barat, Jakarta	Detail tidak sepenuhnya diungkapkan dalam sumber tetapi status Platinum menunjukkan penggunaan fitur hemat energi yang tinggi, pengelolaan air yang baik, kualitas lingkungan dalam ruangan, dll.	Greenship Existing Building ver.1.1 Platinum (Green Building Council Indonesia)
Astra Honda Motor Plant 6	Kawasan Industri GIIC, Bekasi, West Java	Fasilitas industri: kemungkinan efisiensi tinggi dalam energi, air limbah, perencanaan lokasi, mungkin tenaga surya atau energi terbarukan, peralatan yang efisien.	Greenship New Building ver.1.2 Platinum (Green Building Council Indonesia)
Western Sydney University Indonesia (Surabaya campus, interior space)	Surabaya	Proyek Ruang Interior : kualitas udara dalam ruangan yang baik, pencahayaan yang efisien, material berkelanjutan, kenyamanan penghuni.	Greenship Interior Space ver.1.0 Platinum (Green Building Council Indonesia)
Hotel Horison Nindya Semarang	Semarang, Central Java	Sebagai hotel: kemungkinan akan ada penghematan air, pencahayaan/HVAC hemat energi, kemungkinan penggunaan kembali air limbah, penataan lanskap, dan fitur kenyamanan tamu.	Greenship Existing Building ver.1.1 Gold (Green Building Council)

			Indonesia)
ALTÉA Boulevard	Jatisampurna , Bekasi	Ini adalah proyek skala lingkungan; desain kemungkinan akan mencakup ruang terbuka hijau, konektivitas, pengelolaan air, pengelolaan limbah padat & strategi material.	Greenship Neighborhood ver.1.0 Platinum (Green Building Council Indonesia)

(sumber: analisis penulis 2025)

Kekuatan struktur hidup ditunjukkan oleh studi kasus ini. Baik manusia maupun lingkungan dapat memperoleh manfaat darinya. Studi kasus ini meningkatkan standar untuk proyek arsitektur berkelanjutan di masa mendatang. Kisah-kisah ini menerangi jalan menuju masa depan yang lebih inklusif.

5.1. Bangunan Hidup Masa Depan

Struktur hidup tampaknya memiliki masa depan yang cerah. Meningkatkan standar untuk menghemat energi, air, dan lingkungan karena teknologi dan material baru [5]. Di garis depan adalah material mutakhir, kecerdasan buatan, dan sistem bangunan pintar. Dengan tujuan mencapai nol emisi atau positif emisi, mereka berjanji untuk membuat bangunan semakin ramah lingkungan.

5.2. Perkembangan Teknologi

Jawaban untuk dunia yang lebih hijau adalah teknologi konstruksi baru. Kita melihat hal-hal menarik seperti pemurnian udara dan fasad yang membersihkan diri sendiri. Selain itu, AI dan sistem pintar mengubah cara kita mengonsumsi air dan energi. Setiap hari, bangunan otonom semakin dekat untuk menjadi kenyataan.

5.3. Perencanaan Kota yang Berkelanjutan

Menambahkan struktur hidup ke kota-kota membuatnya lebih tangguh dan ramah lingkungan. Kita dapat menciptakan struktur yang lebih dari sekadar berdiri dengan mengambil pandangan luas dan memasukkan pertanian perkotaan dan ruang hijau. Hal ini bermanfaat bagi penduduk setempat serta lingkungan.

KESIMPULAN

Mengintegrasikan sistem alami ke dalam arsitektur, melalui biomimikri dan desain biofilik, menciptakan bangunan yang lebih berkelanjutan, efisien, dan sehat dengan meniru bentuk, proses, dan ekosistem alam, mendorong kesejahteraan manusia dan hubungan yang harmonis dengan lingkungan. Biomimikri melibatkan pembelajaran dari solusi alam yang telah teruji untuk merancang struktur inovatif dan berdampak rendah, sementara desain biofilik menghubungkan manusia dengan alam dengan mengintegrasikan elemen alami seperti tumbuhan, air, dan cahaya alami ke dalam ruang yang dibangun.

Persepsi mengenai desain arsitektur berkembang sebagai hasil dari konsep struktur hidup. Tujuan utamanya adalah untuk mengintegrasikan habitat alami dengan lingkungan buatan kita. Ini mendorong hubungan yang harmonis dan seimbang antara alam dan hal-hal yang kita ciptakan. Konservasi air, desain biofilik,

efisiensi energi, dan keberlanjutan semuanya digunakan oleh arsitek dan desainer. Mereka menciptakan struktur yang bermanfaat bagi dunia kita dan diri kita sendiri. Mereka berkontribusi pada kesehatan ekosistem kita dengan cara ini. Struktur hidup tampaknya memiliki masa depan yang cerah. Kita dapat meningkatkan lanskap perkotaan kita menggunakan material dan teknologi baru. Hal ini akan bermanfaat bagi semua makhluk hidup dan lebih selaras dengan alam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdalrahman, Z., & Galbrun, L. (2020). Audio-visual preferences, perception, and use of water features in open-plan offices. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(3), Article 1661. <https://doi.org/10.1121/10.0000892>
- [2] Adevi, A. A., Uvnäs-Moberg, K., & Grahn, P. (2018). Therapeutic interventions in a rehabilitation garden may induce temporary extrovert and/or introvert behavioural changes in patients, suffering from stress-related disorders. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.010>
- [3] Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). 14 patterns of biophilic design-improving health & well-being in the built environment. Terrapin Bright Green LLC.
- [4] Cacique, M. & Ou, S-J. (2022). Biophilic design as a strategy for accomplishing the idea of healthy, sustainable, and resilient environments. *Sustainability*, 14(9), 5605. <https://doi.org/10.3390/su14095605>
- [5] Dabbagh, S. (2018). The role of water features reducing anxiety in interior spaces public waiting spaces in healthcare buildings as a case study. *Muthanna Journal of Engineering and Technology (MJET)*, 4(2), 66-74. <https://doi.org/10.18081/mjet/2016-4/66-74>
- [6] Hongisto, V., Varjo, J., Oliva, D., Haapakangas, A., & Benway E. (2017). Perception of water-based masking sounds long-term experiment in an open-plan office. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1177. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01177>
- [7] Jiang, C. (2019). Museum design as a tool for a city [Unpublished Master Thesis, University of Massachusetts Amherst, USA]. <https://doi.org/10.7275/14825359>
- [8] Agustina Gutiérrez, A., & Marinangeli, P. (2025). *Nature-based solutions for sustainable cities: A review of the state of the art of green roof research. Journal of Smart Cities and Modern Technology*. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jscmt/issue/91127/1667461>

- [9] Alamry, G. A. (2024). The Role of Green Architecture Strategies in Achieving Zero Energy Buildings. *International Design Journal*, 14(3), 275-284. <https://doi.org/10.21608/idj.2024.347821>
- [10] Kusumawardhani, D., & Wasilah, W. (2023). *Application of green architecture principles in vernacular landscape (Ciptagelar Traditional Village, Indonesia)*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1169(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1169/1/012066>
- [11] Lembi, J., Umar, M., Kobiba, A., & Tarni, J. (2021). *Green architecture review and the responsive building materials towards a sustainable built environment in Nigeria*. *International Journal of Architecture, Arts and Applications*, 7(3), 68–75. <https://doi.org/10.11648/j.ijaaa.20210703.13>
- [12] Masyhur, N. S., Alias, A., Zulkafli, N. S., & Haron, S. N. (2025). *A review on green building vs. green construction: Key differences, benefits, challenges, rating, and future outlook*. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 12(1), 33–45. <https://ijbes.utm.my/index.php/ijbes/article/view/1423>
- [13] Schroepfer, T., et al. (2016). *Dense + green: Innovative building types for sustainable urban architecture*. Birkhäuser.
- [14] Umoh, I. A., Adefemi, K. J., Ibewe, I., Etukudoh, I., Ilojiyanya, M., Sikhakhane, M., & Nwokediegwu, C. (2024). *Green architecture and energy efficiency: A review of innovative design and construction techniques*. *Engineering, Science and Technology Journal*, 5(3), 122–136.
- [15] Afaraya Tacanahui, R. G., Almirón Cuentas, J. A., & Bernedo Moreira, D. H. (2024). *Biophilic Architecture: A Holistic Approach to Healthy and Sustainable Spaces*. *Environmental Research and Ecotoxicity*, 3, 102
- [16] Almeida, A., & Hazazi, F. (2025). *Biophilic Design Strategies and Indoor Environmental Quality: A Case Study*. *Sustainability*, 17(5), Article 1816. <https://doi.org/10.3390/su17051816>
- [17] Amanda, P., & Winasih, S. S. Y. (2025). *Tinjauan Penerapan Pola Arsitektur Biofilik di Fasilitas Pelayanan Kesehatan Jiwa [A Review of the Application of Biophilic Architecture Patterns in Mental Health Care Facilities]*. *JAUR (Journal of Architecture and Urbanism Research)*, 9(1), 308–319. <https://doi.org/10.31289/jaur.v9i1.14686>
- [18] Permana, I. M. D., Prihartini, I. G. A. M., Kuncoro, D. E., & Defiana, I. (2024). *Green Space Connection: Analysis of Biophilic Architecture Elements in Residential Homes*. *Mintakat: Jurnal Arsitektur*, 24(1), Article 9138. <https://doi.org/10.26905/jam.v24i1.9138>

- [19] Thampanichwat, C., Wongvorachan, T., Sirisakdi, L., Somngam, P., Petlai, T., Singkham, S., Bhutdhakomut, B., & Jinjantarawong, N. (2025). The Architectural Language of Biophilic Design After Architects Use Text-to-Image AI. *Buildings*, 15(5), 662. <https://doi.org/10.3390/buildings15050662>
- [20] Zamri, Z., & Ahmad, H. (2025). The Influences of Biophilic Design on Mental Health in Coworking Space. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 10(1), 81-92. <https://doi.org/10.30822/arteks.v10i1.3574>
- [21] Gillis, K., & Gatersleben, B. (2015). A review of psychological literature on the health and wellbeing benefits of biophilic design. *Buildings*, 5(3), 948-963. <https://doi.org/10.3390/buildings5030948>
- [22] Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). The practice of biophilic design. London: Terrapin Bright LLC, 3(21), 2021-09.
- [23] Downton, P., Jones, D., Zeunert, J., & Roös, P. (2017). Biophilic design applications: Putting theory and patterns into built environment practice. *KnE Engineering*, 2(2), 59-65.
- [24] Xue, F., Gou, Z., Lau, S. S. Y., Lau, S. K., Chung, K. H., & Zhang, J. (2019). From biophilic design to biophilic urbanism: Stakeholders' perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 211, 1444-1452. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.277>
- [25] Gray, T., & Birrell, C. (2014). Are biophilic-designed site office buildings linked to health benefits and high performing occupants?. *International journal of environmental research and public health*, 11(12), 12204-12222. <https://doi.org/10.3390/ijerph111212204>
- [26] Yildirim, M., Gocer, O., Globa, A., & Brambilla, A. (2023). Investigating restorative effects of biophilic design in workplaces: a systematic review. *Intelligent Buildings International*, 15(5), 205-247. <https://doi.org/10.1080/17508975.2024.2306273>
- [27] Hung, S. H., & Chang, C. Y. (2022). How do humans value urban nature? Developing the perceived biophilic design scale (PBDs) for preference and emotion. *Urban Forestry & Urban Greening*, 76, 127730. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127730>