e-ISSN : 2621-5934
P-ISSN : 2621-7112

Penerapan Desain Bangunan Cerdas Berkelanjutan pada Pusat Edukasi

Annastasya Angelina Kusuma[1*], Anedya Wardhani[2]

[1,2]Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Pusat Edukasi merupakan lingkungan yang dirancang khusus untuk memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan dan memotivasi bagi anak-anak. Pusat edukasi memiliki peran penting dalam mendukung perkembangan fisik, mental, dan sosial anak. Namun, pusat edukasi masih menghadapi berbagai tantangan terkait desain yang kurang efisien, tata ruang yang tidak optimal, serta penggunaan material yang kurang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan prinsip bangunan cerdas yang mengintegrasikan teknologi inovatif dan ramah lingkungan guna menciptakan ruang edukasi yang efisien, berkelanjutan, serta mendukung kenyamanan dan keamanan bagi anak-anak. Studi ini difokuskan pada analisis penerapan bangunan cerdas di *California Academy of Sciences, San Francisco*. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan prinsip bangunan cerdas mampu meningkatkan efisiensi energi serta mempertahankan aspek keberlanjutan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pedoman desain yang lebih hemat energi dan efektif untuk pusat edukasi, yang mendukung perkembangan anak secara holistik.

Kata kunci—*bangunan cerdas, desain berkelanjutan, hemat energi, pusat edukasi*

1. PENDAHULUAN

Pusat edukasi memiliki peran penting dalam mendukung perkembangan anak, baik dari segi fisik, mental, maupun sosial. Sebagai ruang belajar yang kreatif dan interaktif, pusat edukasi memberikan anak-anak kesempatan untuk mengeksplorasi dan belajar di luar konteks pendidikan formal yang mereka terima di sekolah[1]. Namun, banyak pusat edukasi saat ini masih menghadapi tantangan besar terkait desain yang kurang efisien, fasilitas yang tidak optimal, serta penggunaan material yang tidak ramah lingkungan. Konsep bangunan cerdas hadir sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi energi sekaligus menciptakan lingkungan yang nyaman dan aman. Bangunan cerdas memadukan desain arsitektur dengan teknologi inovatif yang mampu mengelola energi dan lingkungan secara berkelanjutan, sehingga memberikan nilai tambah bagi fasilitas umum, termasuk pusat edukasi. Implementasi teknologi cerdas pada pusat edukasi mencakup otomatisasi sistem untuk efisiensi energi, manajemen gedung yang terintegrasi, serta keamanan yang lebih baik bagi anak-anak.

Studi ini akan menganalisis penerapan prinsip bangunan cerdas pada pusat edukasi dengan mengambil studi kasus di *California Academy of Sciences, San Francisco*, sebagai contoh penerapan yang sukses. Integrasi prinsip bangunan cerdas diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang lebih aman dan menyenangkan bagi anak-anak di pusat edukasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pusat Edukasi

Pusat edukasi merupakan konsep yang menggabungkan elemen "pusat" sebagai titik utama aktivitas dengan "edukasi" sebagai proses interaktif yang bertujuan mendidik dan mengembangkan keterampilan[2], "pusat" dapat diartikan sebagai tempat yang menjadi pokok perhatian dan aktivitas utama, di mana orang-orang berkumpul untuk melakukan berbagai kegiatan. Tempat ini memiliki daya tarik yang mampu mempengaruhi lingkungan sekitarnya[2]. Sedangkan edukasi, merupakan proses interaktif yang mendorong terjadinya pembelajaran. Pembelajaran ini mencakup upaya menambah pengetahuan, sikap, dan keterampilan melalui pengalaman langsung dan penguatan praktik tertentu[3]. Dari dua konsep tersebut, pusat edukasi dapat

* Corresponding author: annastasya0212@gmail.com

didefinisikan sebagai lingkungan yang dirancang untuk memberikan pengalaman belajar yang menarik dan interaktif, di mana anak-anak dapat mengembangkan pengetahuan, sikap, dan keterampilan dalam suasana yang menyenangkan dan kondusif. Pusat edukasi tidak hanya menjadi tempat untuk memperoleh informasi, tetapi juga berfungsi sebagai lingkungan yang memotivasi anak-anak untuk terlibat aktif dalam proses belajar sambil berinteraksi dengan teman sebaya dan lingkungan sekitar.

2.2 Bangunan Cerdas

Bangunan cerdas adalah inovasi dalam desain bangunan yang mengintegrasikan arsitektur, desain interior, dan sistem mekanikal elektrikal untuk menciptakan ruang yang dapat dikontrol secara otomatis dari berbagai arah dan waktu[4]. Konsep bangunan ini mampu melakukan berbagai aktivitas tanpa perlu intervensi manusia secara langsung. Meskipun tidak ada orang di dalamnya, bangunan tetap dapat berfungsi secara mandiri sesuai perintah yang telah diprogramkan sebelumnya. Sistem bangunan cerdas menggunakan teknologi canggih seperti *mikroprosesor* dan *Programmable Logic Controllers* (PLC) yang berfungsi sebagai pengontrol bagi komponen-komponen dalam bangunan, seperti sensor dan aktuator[5]. Komponen ini memungkinkan elemen-elemen bangunan, seperti pencahayaan, pendingin ruangan, sistem keamanan, dan sistem audio-video, untuk terhubung dalam satu jaringan otomatisasi. Dengan adanya integrasi ini, pemilik atau pengguna bangunan dapat mengatur suasana ruang sesuai kebutuhan atau preferensi mereka dengan mudah. Bangunan cerdas memberikan kemudahan dan kenyamanan bagi penggunanya, sekaligus meningkatkan efisiensi energi dan keamanan bangunan. Penerapan teknologi ini dapat membuat hidup lebih praktis dan mendukung pengelolaan ruang secara efisien.

a. Prinsip Bangunan Cerdas Berkelanjutan

Prinsip bangunan cerdas berkelanjutan menjadi dasar utama dalam merancang bangunan yang tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dan kenyamanan pengguna. Prinsip-prinsip tersebut dijelaskan dalam Tabel 1 berikut ini

Tabel 1 Prinsip Bangunan Cerdas

Prinsip	Keterangan	Sumber
Efisiensi Energi	Optimalisasi konsumsi energi melalui teknologi terbarukan, pencahayaan alami, dan ventilasi alami.	LEED v4 [6], ASHRAE 90.1 [7], Green Building Council [8].
Konservasi Air	Pengelolaan air dengan memanfaatkan air hujan, daur ulang air limbah, dan penggunaan perangkat hemat air.	LEED Water Efficiency Credits [9], EPA [10], Global Water Partnership (GWP) [11].
Pengelolaan Material	Penggunaan material ramah lingkungan, seperti bahan daur ulang dan modular untuk mengurangi limbah.	ISO 14040 (Life Cycle Assessment) [12], LEED Materials and Resources [8], Forest Stewardship Council (FSC) [13].
Keamanan dan Kenyamanan Pengguna	Pemanfaatan teknologi cerdas untuk keamanan, kualitas udara, dan pengendalian suhu.	WELL Building Standard [14], WHO Guidelines [15], Building Security Standards [16].
Pengurangan Dampak Lingkungan	Atap hijau, vegetasi asli, dan desain yang mendukung pelestarian lingkungan.	LEED Sustainable Sites Credits[17], Green Infrastructure Guidelines [18].
Inovasi Teknologi Cerdas	Integrasi IoT dan sensor otomatis untuk efisiensi pengelolaan sumber daya.	ISO 50001 (Energy Management Systems) [19], Smart Building Standards (IEC) [20].

b. Parameter Bangunan Cerdas Berkelanjutan

Parameter bangunan cerdas berkelanjutan digunakan sebagai tolok ukur dalam mengimplementasikan desain bangunan cerdas yang efektif dan ramah lingkungan. Parameter-parameter ini mencakup berbagai aspek yang relevan, dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Parameter Bangunan Cerdas

Kategori	Parameter	Keterangan	Sumber
Efisiensi Energi	Penghematan energi dibandingkan sistem konvensional	≥30%	LEED v4 [6], Green Building Council [9].
	Jumlah sistem otomatisasi untuk pencahayaan, ventilasi, dan HVAC	Minimal 90% ruang menggunakan otomatisasi	ASHRAE 90.1 [7], EnergyStar [21].
Konservasi Air	Pengurangan konsumsi air (%) dibandingkan sistem tradisional	≥20-30%	LEED Water Efficiency Credits [9], EPA [10].
	Volume air hujan yang dimanfaatkan	50-100 liter/m²/tahun	Global Water Partnership (GWP) [11].
Material Ramah Lingkungan	Proporsi material daur ulang yang digunakan	≥20-30% bahan daur ulang	LEED Materials and Resources [8], ISO 14040 Life Cycle Assessment [12].
	Jumlah bahan bersertifikat ramah lingkungan yang digunakan	Minimal 50% bahan bersertifikasi	Forest Stewardship Council (FSC) [13], Cradle to Cradle [22].
Kenyamanan Pengguna	Indeks kualitas udara dalam ruangan (ppm untuk CO2, VOC, dll.)	CO2: ≤1000 ppm, VOC: ≤500 µg/m³	WELL Building Standard [14], WHO Guidelines [15].
	Prosentase ruang yang mendapatkan pencahayaan alami	Minimal 75% ruang	LEED Daylight Credits [23].
Keamanan	Jumlah perangkat keamanan berbasis sensor yang diterapkan.	Minimal 3 jenis perangkat (sensor asap, gerak, akses pintu)	NFPA (National Fire Protection Association) [24], Building Security Standards [16].
Pengelolaan Limbah	Persentase limbah konstruksi yang didaur ulang.	≥50-75%	LEED Construction Waste Management [25], ISO 14001 [12].

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kualitatif deskriptif, yang bertujuan untuk menghasilkan gambaran yang akurat mengenai fenomena pada objek penelitian. Pendekatan kualitatif menghasilkan data deskriptif berupa kata-kata tertulis atau lisan dari individu serta perilaku yang diamati, yang berfungsi menggambarkan situasi sosial secara mendalam[26]. Pendekatan deskriptif kualitatif ini difokuskan untuk mendeskripsikan dan menggambarkan karakteristik, kualitas, serta keterkaitan antar kegiatan yang berlangsung, baik secara alami maupun hasil rekayasa manusia[27].

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data secara literatur dengan pendekatan kajian literatur review. Data dikumpulkan melalui penelaahan dokumen, artikel jurnal, buku referensi, serta laporan penelitian terkait konsep bangunan cerdas berkelanjutan. Kajian literatur ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai konteks, teori, dan penerapan prinsip bangunan cerdas dalam studi preseden yang relevan. Informasi yang terkumpul dari literatur ini kemudian dianalisis secara kualitatif berdasarkan teori-teori yang relevan untuk mendukung interpretasi data. Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan observasi sebagai pendukung analisis penerapan konsep bangunan cerdas dalam perancangan pusat edukasi. Fokus penelitian adalah mengkaji kriteria keberlanjutan sebagai acuan utama untuk memahami permasalahan dan kebutuhan antara desain bangunan dan lingkungan.

4. PEMBAHASAN

Penerapan konsep keberlanjutan pada desain *California Academy of Sciences* mencakup teknologi canggih, efisiensi energi, dan konservasi sumber daya. Analisis ini mengevaluasi kontribusi elemen-elemen tersebut dalam mendukung keberlanjutan bangunan dan mengurangi dampak lingkungan.

a. Konsep Bangunan Cerdas dan Berkelanjutan

California Academy of Sciences di *San Francisco* mengintegrasikan konsep bangunan cerdas dan keberlanjutan dengan mengaplikasikan teknologi canggih untuk efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Menerima sertifikasi *LEED Platinum*, bangunan ini mencakup elemen ramah lingkungan seperti atap hijau, pencahayaan alami, dan material daur ulang. Dengan mengoptimalkan penggunaan energi dan sumber daya alam, bangunan ini tidak hanya mengurangi jejak ekologisnya, tetapi juga berfungsi sebagai model arsitektur berkelanjutan yang menginspirasi desain bangunan ramah lingkungan di seluruh dunia.

1) Pengurangan Dampak Lingkungan

Atap hijau merupakan salah satu fitur utama bangunan ini, dengan luas 2,5 hektar yang menjadi habitat terbesar bagi flora dan fauna asli *California di San Francisco*, serta berfungsi sebagai ruang kelas luar dan fasilitas penelitian. Desain atap ini memanfaatkan air dari kabut dan hujan, dengan media tumbuh khusus yang mendukung kehidupan dalam enam inci tanah, serta bahan dan sistem yang dipilih untuk mengurangi beban pada struktur dan mencegah gangguan dari akar tanaman dan air yang meresap. Lebih dari 60.000 sel *surya* dipasang di perimeter atap, menyuplai 1-5% kebutuhan listrik harian Akademi, dan dirancang untuk memberikan naungan pada ruang interior dan eksterior bangunan. Sistem ini juga dirancang untuk memungkinkan ekspansi di masa depan, dengan potensi mengganti sel *surya* yang menggunakan kaca buram dengan sel yang lebih efisien[28].

Gambar 1 Atap Hijau *California Academy of Sciences, San Francisco*

Sumber: Archdaily (2008)

2) Keamanan dan Kenyamanan Pengguna

Sistem pencahayaan alami pada bangunan ini dirancang untuk memaksimalkan pemanfaatan sinar matahari dengan penggunaan dinding kaca dari lantai hingga langit-langit, yang memungkinkan 90% ruang kantor mendapatkan cahaya alami dan pemandangan luar. Jendela atap ditempatkan secara strategis untuk menerangi area penting seperti hutan hujan dan akuarium, sementara sensor cahaya otomatis menyesuaikan intensitas pencahayaan buatan berdasarkan jumlah cahaya matahari yang masuk, sehingga mengoptimalkan efisiensi energi.

Gambar 2 Pencahayaan Alami *California Academy of Sciences, San Francisco*

Sumber: Archdaily (2008)

Desain langit-langit bergelombang turut mendukung ventilasi alami dengan jendela otomatis yang membuka dan menutup sesuai dengan suhu ruangan, mengurangi ketergantungan pada pendingin udara. Penggunaan kaca berkinerja tinggi dengan kadar besi rendah tidak hanya meningkatkan kejernihan *visual*, tetapi juga mengurangi penyerapan panas, sehingga meminimalkan penggunaan energi untuk pendinginan.

Secara keseluruhan, 90% ruang yang digunakan secara rutin di bangunan memiliki akses langsung ke cahaya matahari dan pemandangan luar, mendukung kenyamanan dan efisiensi energi di seluruh bangunan.

3) Pengelolaan Material

Material yang digunakan dalam pembangunan dipilih berdasarkan prinsip keberlanjutan, yang mendukung perolehan sertifikasi *LEED Platinum*. Sekitar 90% material dari pembongkaran bangunan lama didaur ulang, termasuk 95% baja dan 68% insulasi denim dari sumber daur ulang. Beton yang digunakan mengandung 15% *fly ash* dan 35% *slag*, yang memperkuat struktur sekaligus meminimalkan kebutuhan material baru. Selain itu, 50% kayu diperoleh dari hutan yang dikelola secara berkelanjutan. Atap hijau bangunan ini ditanami vegetasi asli, sehingga kebutuhan irigasi dapat diminimalkan untuk mendukung efisiensi penggunaan air. Desain bangunan yang mengoptimalkan pencahayaan dan ventilasi alami serta dilengkapi panel *surya* memungkinkan penghematan energi hingga 30-35% di bawah persyaratan kode *federal*, menjadikannya contoh konstruksi yang ramah lingkungan dan efisien[28].

Gambar 3 *California Academy of Sciences, San Francisco*

Sumber: Archdaily (2008)

b. Implementasi Teknologi Keberlanjutan

California Academy of Sciences di *San Francisco* menerapkan teknologi keberlanjutan dalam *desain* bangunannya untuk mendukung efisiensi energi dan konservasi sumber daya, seperti :

1) Inovasi Teknologi Cerdas

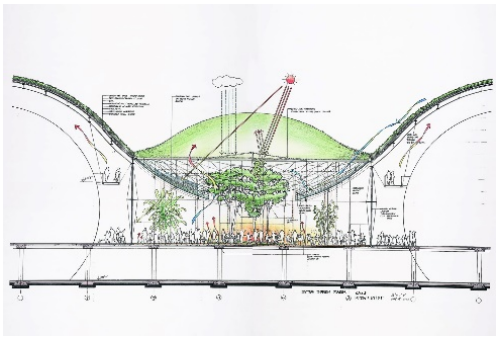
Sistem energi terbarukan pada bangunan ini terdiri dari berbagai teknologi dan inisiatif untuk mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon. Salah satu elemen utama adalah kanopi *surya* yang terpasang di sekeliling *Living Roof*, dilengkapi dengan 60.000 sel *fotovoltaik* yang mampu menghasilkan sekitar 213.000 kWh energi bersih per tahun, memenuhi 5-10 persen kebutuhan energi *Akademi*, serta mencegah pelepasan sekitar 405.000 pon emisi gas rumah kaca. Selain *fotovoltaik*, terdapat teknologi lain seperti keran sensor yang menggunakan aliran air untuk menggerakkan turbin penghasil daya, serta sistem pemulihan panas pada HVAC yang menangkap panas buangan untuk mengurangi kebutuhan energi pemanas. Kombinasi teknologi ini mendukung efisiensi energi dan mengurangi emisi secara signifikan[29].

Gambar 4 Kanopi Surya *California Academy of Sciences, San Francisco*

Sumber: Archdaily (2008)

2) Efiensi Energi

Bangunan ini dirancang dengan pendekatan efisiensi energi yang menggabungkan pengendalian iklim pasif dan teknologi otomatis untuk mengurangi penggunaan energi. Atap bergelombang tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika tetapi juga mengarahkan angin laut sejuk dari area Taman *Golden Gate* ke dalam bangunan untuk memberikan pendinginan alami. Sistem *ventilasi* otomatis mengatur pembukaan dan penutupan *piazza* serta jendela di seluruh bangunan untuk mengeluarkan panas dan memungkinkan masuknya udara segar. Pemanas untuk lantai utama sebagian besar bersumber dari energi matahari, saluran pemanas di lantai beton, serta panas tubuh pengunjung. Sistem HVAC mekanis digunakan hanya di area tertentu seperti laboratorium dan ruang penyimpanan yang memerlukan pengendalian suhu ketat. Dengan pendekatan ini, bangunan berhasil mengurangi konsumsi energinya hingga 30 persen di bawah persyaratan standar federal, mencerminkan komitmen tinggi terhadap efisiensi energi[28].



Gambar 5 Diagram Kontrol Iklim *California Academy of Sciences, San Francisco*

Sumber: Archdaily (2008)

3) Konservasi Air

Bangunan ini menerapkan strategi konservasi air yang efisien untuk mendukung keberlanjutan dengan mengurangi konsumsi air, baik di dalam maupun di luar ruangan. Teknologi efisiensi air seperti *urinoir* tanpa air, keran aliran rendah, *toilet*, dan pancuran memungkinkan penghematan hingga 32% di bawah standar *LEED*. *Living Roof* menggunakan tanaman asli yang sesuai dengan iklim Teluk, mengandalkan curah hujan dan kabut alami untuk kebutuhan air, dengan irigasi terbatas pada saat kekeringan atau suhu ekstrem. Selama musim hujan, kelebihan air dari atap mengalir ke ruang infiltrasi bawah tanah, yang mengisi kembali muka air tanah dan mencegah hingga 3,6 juta galon limpasan berpolutan setiap tahun. Selain itu, air reklamasi dari Kota *San Francisco* digunakan untuk menyiram *toilet*, mengurangi penggunaan air minum hingga 90% untuk pembuangan limbah[30].

Gambar 6 Pipa Penyaluran Kelebihan Air *California Academy of Sciences, San Francisco*

Sumber: Archdaily (2008)

e-ISSN : 2621-5934
P-ISSN : 2621-7112

5. HASIL PEMBAHASAN

Studi preseden pada *California Academy of Sciences, San Francisco*, memberikan gambaran penerapan prinsip dan parameter bangunan cerdas berkelanjutan secara holistik. Bangunan ini berhasil mengintegrasikan teknologi cerdas dengan desain berkelanjutan untuk mencapai efisiensi energi, konservasi air, dan pengelolaan material secara optimal. Tabel 3 berikut merangkum hasil analisis prinsip dan parameter yang diterapkan pada *studi preseden* ini serta penerapan untuk desain bangunan Pusat Edukasi di masa depan.

Tabel 3 Kesimpulan *Studi Preseden*

Prinsip	Parameter	Implementasi	Terpenuhi (✓/✗)	Relevansi
Efisiensi Energi	Penghematan energi: ≥30%	Panel surya menghasilkan 213.000 kWh energi bersih per tahun, mengurangi emisi hingga 405.000 pon CO2	✓	Cocok diterapkan di wilayah dengan paparan sinar matahari tinggi.
	Ruang dengan otomatisasi pencahayaan: Minimal 90%	Sensor cahaya otomatis menyesuaikan intensitas pencahayaan buatan berdasarkan cahaya alami	✓	Memastikan efisiensi energi di ruang edukasi.
Konservasi Air	Pengurangan konsumsi air: ≥20-30%	Teknologi efisiensi air seperti urinoir tanpa air, keran aliran rendah, dan air daur ulang penghematan hingga 32%	✓	Membantu pengelolaan air di wilayah tropis.
	Volume air hujan yang dimanfaatkan: ≥50 liter/m²/tahun	Sistem irigasi menggunakan air limpasan hujan	✓	Dapat diterapkan pada bangunan dengan curah hujan tinggi.
Pengelolaan Material	Material daur ulang yang digunakan: Minimal 20-30%	90% material dari pembongkaran bangunan lama didaur ulang, termasuk baja dan insulasi denim	✓	Mengurangi jejak karbon konstruksi.
	Material bersertifikat ramah lingkungan: Minimal 50%	50% kayu berasal dari hutan bersertifikasi FSC	✓	Meningkatkan keberlanjutan sumber daya material.
Keamanan	Perangkat keamanan berbasis sensor: Minimal 3 perangkat	Sensor cahaya, akses otomatis, dan ventilasi terkendali	✓	Menjamin keamanan penghuni pusat edukasi.
Kenyamanan Pengguna	CO2 dalam ruangan: ≤1000 ppm	Sistem ventilasi otomatis menjaga CO2 tetap di bawah standar WHO	✓	Mendukung kesehatan anak-anak selama proses edukasi.
	Ruang dengan pencahayaan alami: Minimal 75%	90% ruang mendapatkan pencahayaan alami	✓	Mengurangi penggunaan energi untuk pencahayaan buatan.
Pengelolaan Limbah	Limbah konstruksi yang didaur ulang: ≥50-75%	90% limbah dari konstruksi bangunan lama didaur ulang	✓	Memastikan limbah konstruksi dikelola secara berkelanjutan.

6. KESIMPULAN

Studi kasus pada *California Academy of Sciences* membuktikan bahwa penerapan prinsip dan parameter bangunan cerdas berkelanjutan dapat memberikan solusi holistik dalam menciptakan bangunan yang ramah lingkungan, hemat energi, dan mendukung kenyamanan pengguna. Bangunan ini telah memenuhi sebagian besar parameter yang ditetapkan oleh standar internasional seperti *LEED, ASHRAE, dan WELL Building*

Standards. Implementasi ini tidak hanya berdampak positif terhadap lingkungan, tetapi juga terhadap efisiensi operasional dan kualitas pengalaman pengguna. Bangunan seperti ini dapat menjadi model bagi pembangunan berkelanjutan di Indonesia, khususnya untuk fasilitas edukasi yang tidak hanya mengutamakan efisiensi dan keberlanjutan, tetapi juga kenyamanan dan keamanan bagi anak-anak sebagai pengguna utama. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya peran arsitektur dalam menciptakan ruang yang mendukung pembangunan berkelanjutan dan memperkuat hubungan manusia dengan lingkungan secara harmonis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam proses penyusunan paper penelitian ini. Terutama, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Andri Febru, S.T., M.Ars., IAI, selaku Dosen Pembimbing I, yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan ilmu, masukan, dan motivasi yang sangat berharga selama proses penelitian ini.
2. Ibu Anedya Wardhani, Ir., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang luar biasa yang telah diberikan dalam penyelesaian penelitian ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen serta para Staf Jurusan Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Pancasila, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan yang sangat mendukung kelancaran penelitian ini.
4. Para Responden/Partisipan yang telah meluangkan waktu untuk berpartisipasi dalam penelitian ini, tanpa mereka penelitian ini tidak akan dapat berjalan dengan baik.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Terima kasih atas segala bantuan yang diberikan.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang arsitektur, khususnya dalam penerapan bangunan cerdas pada pusat edukasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] G. E. Mirah, F. O. . Siregar, and C. E. V. Wuisang, "Pusat Edukasi Dan Pengembangan Kreativitas Anak Di Kabupaten Minahasa," *J. Arsit. DASENG*, vol. 11, no. 1, pp. 203–214, 2022, [Online]. Available: www.pom.go.id

[2] Poerwadarminta. W.J.S., *Kamus Umum Bahasa Indonesia*. Jakarta : Balai Pustaka, 2003.

[3] Potter & Perry, *Fundamental Keperawatan*, 7 Buku 1. Jakarta: Salemba Medika, 2009.

[4] G. R. Ayomi, "Perancangan Pusat Edukasi Interaktif dengan Pendekatan Smart Building di Kota Malang," 2019.

[5] N. Fadilla, "Building Automation System Berbasis Mikrokontroler untuk Monitoring dan Kontrol Energi," *Nurin Fadilla*, 2015.

[6] "LEED v4 for Building Design and Construction," *Green Build. Counc.*, 2013, [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v4

[7] "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)," *ASHRAE Stand. 90.1 Energy Stand. Build. Except Low-Rise Resid. Build. Atlanta ASHRAE.*, 2019.

[8] "Green Building Council," *LEED Mater. Resour. Credit.*, 2013, [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v4

[9] "Green Building Council," *LEED Water Effic. Credit.*, 2013, [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v4

[10] "U.S. Environmental Protection Agency (EPA)," *Water Effic. Guidel. Retrieved from*, 2020, [Online]. Available: https://www.epa.gov/watersense

[11] "Global Water Partnership (GWP)," *Integr. Water Resour. Manag. Guidel.*, 2015, [Online]. Available: https://www.gwp.org/

[12] "International Organization for Standardization (ISO)," *ISO 14040 Environ. Manag. - Life Cycle Assess. - Princ. Fram. Geneva ISO.*, 2006.

[13] "Forest Stewardship Council (FSC)," *FSC Certif. Stand.*, 2021, [Online]. Available: https://www.fsc.org/

[14] "International WELL Building Institute," *WELL Build. Stand. v2*, 2021, [Online]. Available: https://www.wellcertified.com/

[15] "World Health Organization (WHO)," *WHO Guidel. Indoor Air Qual. Sel. Pollut. Geneva WHO Press.*, 2010.

[16] "National Fire Protection Association (NFPA)," *NFPA 101 Life Saf. Code - Build. Secur. Stand. Quincy, MA NFPA.*, 2022.

[17] "Green Building Council," *LEED Sustain. Sites Credit.*, 2013, [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v4

[18] "Green Infrastructure Guidelines," *Sustain. Sites Landscaping Approaches*, 2017, [Online]. Available: https://www.greeninfrastructure.net/

[19] "International Organization for Standardization (ISO)," *ISO 50001 Energy Manag. Syst. Geneva ISO.*, 2018.
[20] "International Electrotechnical Commission (IEC)," *IEC Smart Build. Stand. Geneva IEC.*, 2017.
[21] "U.S. Environmental Protection Agency (EPA)," *EnergyStar Progr. Requir. Guidel.*, 2021, [Online]. Available: https://www.energystar.gov/
[22] "Cradle to Cradle Products Innovation Institute," *Cradle to Cradle Certif. Prod. Stand.*, 2016, [Online]. Available: https://www.c2ccertified.org/
[23] "Green Building Council," *LEED Daylight Credit.*, 2013, [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v4
[24] "National Fire Protection Association (NFPA)," *NFPA 101 Life Saf. Code. Quincy, MA NFPA.*, 2022.
[25] "Green Building Council," *LEED Constr. Waste Manag.*, 2013, [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v4
[26] L. J. Meleong, "Metodologi Penelitian Kualitatif," Bandung: PT. Remaja Rosdakarya, 2007, ch. h. 4.
[27] N. S. Sukmadinata, "Metode Penelitian Pendidikan," Bandung: PT. Remaja Rosadakarya, 2011.
[28] Green Infrastructure, "Tour California Academy of Sciences," Industry Events. [Online]. Available: https://www.bayareapervious concrete.com/blog/2017/8/7/green-infrastructure-tour-california-academy-of-sciences
[29] J. C. Montero and M. M. Hancock, "National Western Center," 2015, [Online]. Available: https://nationalwesterncenter.com/wp-content/uploads/2017/10/NWC-Master-Plan-2015.pdf
[30] R. L. Pallowick, "The california academy of sciences library," *Sci. Technol. Libr.*, vol. 6, no. 1–2, pp. 9–18, 1985, doi: 10.1300/J122v06n01_02.