

Menentukan Kriteria, Data Referensi dan Bobot Penilaian Menggunakan AHP dalam Evaluasi Gambar Arsitektur

Hadi Permana*, Agus Budi Purnomo

Universitas Trisakti, Indonesia

Email: hadi.permana@trisakti.ac.id*

Keywords	Abstract
architectural drawings, ground truth, assessment criteria, analytic hierarchy process, machine learning, architectural informatics.	<i>Building thermal comfort in tropical regions is an important issue, particularly due to high solar radiation intensity that increases indoor temperatures and energy consumption for artificial cooling. On the other hand, HDPE (High Density Polyethylene) plastic waste continues to increase alongside growing plastic product consumption, yet its reuse as a value-added material remains suboptimal. This condition opens opportunities for utilizing HDPE as a sustainable alternative construction material, in line with circular economy principles in the construction industry. This research examines the potential of HDPE-PCM composite as a roof tile material capable of adapting to temperature fluctuations in tropical climates, serving as a dual solution to environmental problems and building thermal comfort. One approach involves combining HDPE with PCM (Phase Change Material), which absorbs and releases latent heat during phase changes, thereby passively stabilizing roof surface temperature without additional energy. Factors considered in developing this composite include HDPE's mechanical properties such as tensile strength and weather resistance, PCM's thermal characteristics including melting point and latent heat capacity, and composite material development in the construction field. Integrating PCM into the HDPE matrix has potential to enhance the material's ability to stabilize under-roof space temperature, though composition balance must be considered so PCM addition does not reduce the tile's structural strength or mechanical durability. Thus, HDPE-PCM composite holds significant potential to be developed as an innovative roof tile material that not only improves building thermal comfort in tropical climates but also supports sustainable plastic waste reduction and future environmentally friendly construction material development.</i>
Kata Kunci	Abstrak
gambar arsitektur, kebenaran dasar, kriteria penilaian, proses hierarki analitik, pembelajaran mesin, informatika arsitektur.	Permasalahan kenyamanan termal bangunan di wilayah tropis menjadi isu penting, terutama akibat tingginya intensitas radiasi matahari yang berdampak pada peningkatan suhu ruang dan konsumsi energi untuk pendinginan buatan. Di sisi lain, limbah plastik jenis HDPE (High Density Polyethylene) terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan konsumsi produk plastik, namun pemanfaatannya kembali sebagai material bernilai tambah masih belum optimal. Kondisi ini membuka peluang pemanfaatan HDPE sebagai material konstruksi alternatif yang lebih berkelanjutan, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dalam industri konstruksi. Riset ini bertujuan mengkaji potensi komposit HDPE dan PCM sebagai material genteng yang mampu beradaptasi terhadap fluktuasi suhu iklim tropis, sekaligus menjadi solusi ganda bagi permasalahan lingkungan dan kenyamanan termal bangunan. Salah satu pendekatan yang dilakukan adalah menggabungkan HDPE dengan PCM (Phase Change Material) yang mampu menyerap dan melepaskan panas laten saat perubahan fase, sehingga dapat menstabilkan suhu permukaan atap secara pasif tanpa energi tambahan. Faktor

yang dipertimbangkan dalam pengembangan komposit ini antara lain sifat mekanik HDPE seperti kekuatan tarik dan ketahanan cuaca, karakteristik termal PCM meliputi titik leleh dan kapasitas panas laten, serta pengembangan material komposit bidang konstruksi. Integrasi PCM dalam matriks HDPE berpotensi meningkatkan kemampuan material menstabilkan suhu ruang di bawah atap, meskipun perlu memperhatikan keseimbangan komposisi agar penambahan PCM tidak menurunkan kekuatan struktur maupun ketahanan mekanik genteng. Dengan demikian, komposit HDPE-PCM memiliki peluang besar untuk dikembangkan sebagai material genteng inovatif yang tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kenyamanan termal bangunan di iklim tropis, tetapi juga mendukung upaya pengurangan limbah plastik secara berkelanjutan serta pengembangan material konstruksi ramah lingkungan di masa mendatang.

PENDAHULUAN

Penilaian gambar arsitektur merupakan komponen fundamental dalam praktik profesional, pendidikan, dan proses regulasi di bidang arsitektur. Gambar arsitektur berfungsi sebagai media utama untuk mengomunikasikan konfigurasi ruang, maksud fungsional, dan spesifikasi teknis sepanjang siklus hidup proyek, mulai dari konsep desain awal hingga dokumen konstruksi (Ching, 2014). Kualitas gambar yang dihasilkan secara langsung memengaruhi efektivitas komunikasi antar pemangku kepentingan, efisiensi proses konstruksi, dan pada akhirnya, kualitas bangunan yang dibangun. Namun demikian, proses penilaian gambar arsitektur selama ini masih didominasi oleh pendekatan subjektif yang sangat bergantung pada intuisi ahli, pengetahuan tacit, dan praktik evaluasi berbasis studio (Schön, 1983) dan (Anthony, 1991). Subjektivitas ini menimbulkan tantangan serius dalam menjamin konsistensi, transparansi, dan akuntabilitas penilaian, baik dalam konteks akademis maupun profesional.

Perkembangan pesat di bidang kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (ML) telah membuka peluang baru untuk mengotomatisasi dan meningkatkan objektivitas proses penilaian di berbagai domain, termasuk arsitektur, teknik, dan konstruksi (AEC) (Chen & Liu, 2022; Zhu et al., 2017). Penerapan ML di bidang AEC telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam berbagai tugas, seperti deteksi ruangan, klasifikasi simbol, segmentasi denah, dan pengenalan objek dari gambar arsitektur (Zeng et al., 2021; Dodge et al., 2020; Liu et al., 2017). Namun, pendekatan ini membutuhkan dataset berlabel yang andal dan terstruktur—sebuah prasyarat yang saat ini masih langka dalam domain gambar arsitektur. Model ML terawasi, khususnya, memerlukan label kebenaran dasar (ground truth) yang terdefinisi dengan baik untuk mempelajari pola yang bermakna. Tidak seperti gambar alam, gambar arsitektur bersifat simbolis, berbasis aturan, dan berlapis, yang mengkodekan semantik arsitektur seperti skala, zonasi, sirkulasi, orientasi, dan layanan bangunan. Karakteristik unik ini membuat penerapan langsung metode konstruksi kebenaran dasar konvensional menjadi tidak memadai.

Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk mengembangkan rubrik penilaian yang lebih terstruktur, sebagian besar kerangka yang ada masih bersifat kualitatif dan belum diformalkan ke dalam format yang dapat diproses secara komputasional. Jonsson & Svingby (2007) menunjukkan bahwa penggunaan rubrik penilaian yang terdefinisi dengan baik dapat meningkatkan reliabilitas dan transparansi evaluasi dalam konteks pendidikan, namun implementasinya dalam penilaian gambar arsitektur masih menghadapi kendala dalam hal formalisasi kriteria dan pembobotan yang objektif. Salama (2015) dan Salama & Wilkinson

(2007) telah mengkaji berbagai pendekatan pedagogi dalam pendidikan desain, termasuk metode evaluasi studio, tetapi penelitian tersebut belum secara sistematis menghubungkan rubrik penilaian dengan kebutuhan dataset untuk pembelajaran mesin. Di sisi lain, penelitian di bidang machine learning untuk arsitektur lebih fokus pada otomatisasi tugas pengenalan daripada menyediakan landasan metodologis untuk penilaian kualitas holistik.

Kesenjangan metodologis yang kritis tetap ada antara evaluasi berbasis pengetahuan arsitektur dan pendekatan pembelajaran mesin berbasis data. Di satu sisi, kerangka penilaian arsitektur yang ada, termasuk rubrik studio dan daftar periksa regulasi, jarang diformalkan dengan cara yang sesuai untuk pembelajaran komputasional. Di sisi lain, penelitian ML di bidang arsitektur secara implisit mengasumsikan ketersediaan label yang andal tanpa menyediakan protokol yang sistematis untuk membangun label tersebut. Attallah et al. (2027) mengusulkan kerangka berbasis AHP untuk evaluasi gambar kerja arsitektur yang dikembangkan dengan CAD, tetapi penelitian ini terbatas pada aspek teknis dokumen konstruksi dan belum mencakup evaluasi desain yang lebih luas. Penelitian oleh Tatal & Aykal (2026) menunjukkan potensi integrasi AHP dengan Design Quality Indicator untuk penilaian kualitas fasad bangunan publik, namun belum diterapkan pada evaluasi gambar arsitektur. Akibatnya, belum ada kerangka kerja terintegrasi yang secara eksplisit menghubungkan identifikasi kriteria penilaian, konstruksi kebenaran dasar, dan pembobotan kriteria dalam satu metodologi yang koheren dan siap digunakan untuk pembelajaran mesin.

Urgensi penelitian ini muncul dari kebutuhan akan kerangka penilaian gambar arsitektur yang lebih objektif, transparan, dan dapat direproduksi, terutama di tengah meningkatnya tuntutan untuk akuntabilitas dan standarisasi dalam praktik arsitektur. Dalam konteks pendidikan arsitektur, objektivitas penilaian menjadi semakin krusial seiring dengan meningkatnya jumlah mahasiswa dan kebutuhan untuk memberikan umpan balik yang konstruktif dan adil. Penelitian oleh Harputlugil & de Wilde (2019) menunjukkan bahwa interaksi manusia-bangunan dalam efisiensi energi membutuhkan metode evaluasi yang lebih terukur dan terdokumentasi. Sementara itu, dalam praktik profesional, adopsi Building Information Modeling (BIM) dan sistem penilaian bangunan berbasis kinerja semakin menuntut metode evaluasi yang lebih terukur dan terdokumentasi. Selain itu, perkembangan regulasi bangunan yang semakin kompleks, seperti peraturan tentang aksesibilitas, keselamatan kebakaran, dan efisiensi energi, membutuhkan metode pemeriksaan kepatuhan yang lebih sistematis dan dapat diaudit. Penelitian ini menjawab kebutuhan tersebut dengan mengembangkan kerangka penilaian yang tidak hanya terstruktur dan objektif, tetapi juga kompatibel dengan teknologi kecerdasan buatan yang semakin banyak diadopsi di bidang arsitektur.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka kerja terintegrasi yang secara eksplisit menghubungkan tiga komponen metodologis yang selama ini berdiri sendiri: (1) identifikasi sistematis kriteria penilaian yang didasarkan pada standar arsitektur dan validasi ahli, (2) konstruksi formal kebenaran dasar berbasis rubrik yang sesuai untuk pembelajaran mesin terawasi, dan (3) pembobotan berbasis Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk menangkap tingkat kepentingan relatif dari kriteria. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya fokus pada satu aspek saja—baik pengembangan rubrik (Jonsson & Svingby, 2007), aplikasi AHP untuk evaluasi (Attallah et al., 2027; Tatal & Aykal, 2026), atau implementasi pembelajaran mesin untuk pengenalan simbol (Zeng et al., 2021;

Dodge et al., 2020). Dengan mengintegrasikan ketiga komponen tersebut, kerangka yang diusulkan menjembatani kesenjangan antara pengetahuan domain arsitektur dan pendekatan berbasis data, sekaligus menyediakan landasan metodologis yang dapat direplikasi untuk penelitian masa depan di bidang informatika arsitektur. Selain itu, penelitian ini juga memperluas peran Multi-Criteria Decision Making (MCDM) dari sekadar alat bantu keputusan menjadi mekanisme untuk menyematkan penalaran ahli ke dalam representasi data kuantitatif yang siap digunakan untuk pembelajaran mesin.

Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan dan memvalidasi kerangka kerja terstruktur untuk evaluasi gambar arsitektur yang menghasilkan label kebenaran dasar yang konsisten dan siap digunakan untuk pembelajaran mesin. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan memvalidasi serangkaian kriteria penilaian gambar arsitektur yang komprehensif dan terukur, (2) merumuskan protokol konstruksi kebenaran dasar yang menjamin reliabilitas antar-penilai, dan (3) menentukan bobot relatif kriteria menggunakan metode AHP. Dengan tercapainya tujuan-tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menyediakan fondasi bagi pengembangan sistem penilaian gambar arsitektur yang transparan, dapat dijelaskan, dan didukung oleh kecerdasan buatan, serta meningkatkan objektivitas dan konsistensi evaluasi dalam praktik arsitektur dan pendidikan.

Kontribusi penelitian ini bersifat teoretis dan praktis. Secara teoretis, penelitian ini memajukan bidang informatika arsitektur dengan memosisikan penilaian gambar sebagai masalah formalisasi pengetahuan yang dapat diselesaikan melalui pendekatan sistematis berbasis AHP dan rubrik terstruktur. Penelitian ini juga memperluas pemahaman tentang bagaimana pengetahuan tacit dan penalaran ahli dapat ditransformasikan ke dalam representasi data yang terukur dan dapat diproses secara komputasional. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan metodologi konstruksi kebenaran dasar untuk domain simbolis dan berbasis aturan seperti gambar arsitektur, yang berbeda secara fundamental dari citra alam. Secara praktis, kerangka yang dihasilkan dapat digunakan sebagai metode transparan untuk menilai gambar mahasiswa dalam pendidikan arsitektur, mendukung sistem umpan balik formatif yang dibantu AI, dan berfungsi sebagai landasan untuk pemeriksaan kepatuhan regulasi otomatis dalam praktik profesional. Manfaat jangka panjang dari penelitian ini adalah terciptanya ekosistem penilaian arsitektur yang lebih objektif, adil, dan akuntabel, sejalan dengan tuntutan profesionalisme dan inovasi teknologi di abad ke-21. Kerangka kerja ini juga dapat diadaptasi untuk berbagai konteks budaya dan regulasi yang berbeda, serta diperluas untuk mencakup jenis representasi arsitektur lainnya seperti potongan, elevasi, dan model 3D.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (research and development) dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi kerangka penilaian gambar arsitektur yang terstruktur dan siap digunakan untuk pembelajaran mesin. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengukuran objektif terhadap reliabilitas antar-penilai, pembobotan kriteria melalui AHP, dan validasi eksperimental menggunakan model pembelajaran mesin. Jenis penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian metodologis, di mana fokus utamanya adalah pada pengembangan instrumen dan prosedur yang dapat direplikasi untuk menghasilkan data kebenaran dasar yang konsisten. Populasi data

penelitian mencakup seluruh gambar arsitektur yang dihasilkan oleh mahasiswa arsitektur dan praktisi profesional, dengan karakteristik berupa gambar denah 2D yang disusun sesuai dengan standar gambar arsitektur Indonesia. Sampel data penelitian terdiri dari 100 denah lantai yang dikurasi dari studio akademis dan arsip profesional, yang dipilih secara purposive berdasarkan kriteria: (1) kelengkapan elemen gambar, (2) variasi tipologi dan skala proyek, serta (3) ketersediaan dokumentasi yang memadai. Untuk memastikan representativitas, sampel mencakup berbagai jenis proyek, mulai dari bangunan residensial sederhana hingga bangunan publik multi-fungsi, dengan rentang ukuran dan tingkat kompleksitas yang bervariasi. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah stratified sampling untuk memastikan proporsi yang seimbang antar kategori proyek dan tingkat kesulitan, sehingga dataset yang dihasilkan memiliki variasi yang cukup untuk melatih model pembelajaran mesin yang generalis.

Instrumen penelitian dikembangkan melalui tinjauan literatur sistematis terhadap standar gambar arsitektur dan pedoman desain, serta divalidasi oleh panel ahli yang terdiri dari lima arsitek berlisensi dan pendidik senior dengan pengalaman minimal lima tahun di bidang pendidikan dan praktik arsitektur. Instrumen utama berupa rubrik penilaian digital yang mencakup 21 kriteria yang dikelompokkan ke dalam enam kategori tematik: (1) Identifikasi Gambar, (2) Representasi Ruang dan Fungsional, (3) Sistem Teknis dan Utilitas, (4) Elemen Struktural dan Keamanan, (5) Integritas Grafis dan Komunikasi Visual, serta (6) Kepatuhan Terhadap Standar. Setiap kriteria dinilai menggunakan skala ordinal 0-4, di mana 0 menunjukkan ketidakhadiran atau ketidakpatuhan, nilai-nilai di antara menunjukkan kehadiran sebagian, dan nilai maksimum menunjukkan kepatuhan penuh terhadap indikator yang ditetapkan. Rubrik ini dilengkapi dengan definisi operasional yang eksplisit, indikator yang dapat diamati, dan contoh visual untuk setiap kriteria guna meminimalkan ambiguitas interpretasi antar-penilai. Uji validitas isi dilakukan dengan meminta panel ahli mengevaluasi relevansi setiap kriteria menggunakan skala lima poin (1=sangat tidak relevan, 5=sangat relevan), dan kriteria dengan skor validitas di bawah 3,5 direvisi atau dieliminasi. Uji reliabilitas antar-penilai dilakukan dengan melibatkan dua ahli yang mengevaluasi secara independen 20 sampel gambar menggunakan rubrik yang telah divalidasi. Koefisien Kappa Cohen dan Intraclass Correlation Coefficient (ICC) dihitung untuk mengukur tingkat kesepakatan, dengan target minimal Kappa > 0,70 dan ICC > 0,75 yang menunjukkan reliabilitas substansial hingga hampir sempurna sesuai dengan pedoman Koo & Li (2016). Kriteria dengan tingkat kesepakatan rendah ditinjau kembali dan definisinya diklarifikasi untuk meningkatkan konsistensi penilaian.

Identifikasi dan Definisi Kriteria

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tiga tahap utama yang terintegrasi secara sistematis. Tahap pertama adalah identifikasi dan validasi kriteria, di mana data dikumpulkan melalui studi dokumentasi terhadap standar gambar arsitektur (seperti standar ISO, standar nasional Indonesia, dan pedoman studio arsitektur) serta wawancara terstruktur dengan panel ahli untuk mengidentifikasi dan memvalidasi kriteria penilaian. Tahap kedua adalah anotasi gambar oleh ahli, di mana dua ahli mengevaluasi secara independen setiap sampel gambar menggunakan rubrik digital standar yang dikembangkan dalam Microsoft Excel, dengan proses anotasi dilakukan secara buta untuk menghindari bias. Setiap ahli menerima pelatihan terlebih dahulu mengenai penggunaan rubrik dan definisi operasional setiap kriteria untuk memastikan pemahaman yang seragam. Tahap ketiga adalah pembobotan AHP, di mana data dikumpulkan

melalui kuesioner perbandingan berpasangan yang disebarakan kepada panel ahli yang sama untuk menentukan bobot relatif kriteria menggunakan skala 1-9 Saaty (Saaty, 1980). Prosedur penelitian dimulai dengan tinjauan literatur sistematis dan identifikasi kriteria awal, dilanjutkan dengan validasi kriteria oleh panel ahli dan revisi berdasarkan masukan mereka. Selanjutnya, dikembangkan protokol anotasi terperinci yang mencakup definisi operasional, indikator yang dapat diamati, dan contoh visual untuk setiap kriteria. Setelah protokol divalidasi, dilakukan anotasi gambar oleh ahli dan pengukuran reliabilitas antar-penilai, diikuti dengan agregasi skor menggunakan median dan normalisasi ke skala umum 0-1. Tahap terakhir adalah penentuan bobot AHP melalui perbandingan berpasangan dan verifikasi konsistensi rasio ($CR < 0,10$), di mana jika CR melebihi 0,10, maka perbandingan berpasangan diulang hingga mencapai konsistensi yang dapat diterima.

Tabel 1. Pemetaan Kriteria ke Ground Truth, AHP, dan Fitur Pembelajaran Mesin

No	Kriteria Penilaian	Representasi Truth	Ground	Peran AHP	Jenis Fitur ML
1	Judul Gambar	Biner / ordinal (0–2)		Subkriteria	Deteksi teks, keberadaan tata letak
2	Keterangan & Notasi	Ordinal (0–3)		Subkriteria	Kepadatan simbol, pengenalan legenda
3	Skala & Proporsi	Ordinal (0–3)		Subkriteria	Konsistensi rasio geometris
4	Dimensi	Ordinal (0–3)		Sub-kriteria	Deteksi teks numerik, panjang baris
5	Judul Ruang	Ordinal (0–3)		Sub-kriteria	OCR + asosiasi teks spasial
6	Zonasi Horizontal	Ordinal (0–3)		Kriteria	Pengelompokan spasial, grafik kedekatan
7	Zonasi Vertikal / Ruang Kosong	Ordinal (0–3)		Kriteria	Deteksi garis potong, inferensi ruang kosong
8	Jalur Sirkulasi	Ordinal (0–4)		Kriteria	Ekstraksi jalur, konektivitas graf
9	Arah Kardinal	Biner / ordinal (0–2)		Subkriteria	Deteksi simbol (panah utara)
10	Arah kiblat	Biner / ordinal (0–2)		Sub-kriteria	Deteksi simbol arah
11	Tangga	Ordinal (0–3)		Kriteria	Pengenalan pola tangga
12	Tangga Darurat	Ordinal (0–3)		Kriteria	Analisis redundansi & lokasi
13	Lift / Eskalator	Ordinal (0–3)		Kriteria	Deteksi objek (lift/eskalator)
14	Elemen Aksesibilitas	Ordinal (0–3)		Kriteria	Deteksi simbol aksesibilitas
15	Saluran Air Bersih	Ordinal (0–3)		Subkriteria	Klasifikasi tipe garis
16	Air Limbah & Banjir	Ordinal (0–4)		Kriteria	Deteksi pemisahan jaringan
17	Rencana Listrik	Ordinal (0–3)		Kriteria	Pengenalan simbol listrik
18	Substasiun Listrik	Biner / ordinal (0–2)		Subkriteria	Deteksi objek (stasiun transformator)
19	Dinding, Pintu & Jendela	Urutan (0–3)		Kriteria	Deteksi tepi & pembukaan
20	Garis virtual / Garis putus-putus	Ordinal (0–2)		Sub-kriteria	Klasifikasi gaya garis

No	Kriteria Penilaian	Representasi Truth	Ground	Peran AHP	Jenis Fitur ML
21	Lantai & Ketinggian Lahan	Ordinal (0–3)		Kriteria	Deteksi anotasi ketinggian

Sumber: Diolah oleh penulis berdasarkan hasil kajian literatur dan analisis penelitian, 2026.

Protokol Pembuatan Data Acuan

Sebuah protokol terstruktur dikembangkan untuk mengubah penilaian ahli menjadi label kuantitatif:

1. **Pemilihan Ahli:** Arsitek berlisensi dan pendidik senior dengan pengalaman minimal lima tahun.
2. **Pedoman Anotasi:** Definisi eksplisit mengenai ruang lingkup, indikator yang dapat diamati, dan contoh visual untuk setiap kriteria.
3. **Skala Penilaian:** Skala ordinal (misalnya, 0–4) di mana 0 menunjukkan ketidakhadiran/ketidakpatuhan, nilai-nilai di antara menunjukkan kehadiran sebagian, dan nilai maksimum menunjukkan kepatuhan penuh.
4. **Anotasi Independen:** Setidaknya dua ahli mengevaluasi setiap gambar secara buta menggunakan rubrik digital standar.
5. **Keandalan Antarpenilai:** Dinilai menggunakan Kappa Cohen dan Koefisien Korelasi Intrakelas (ICC) untuk memastikan konsistensi (Koo & Li, 2016). Kriteria dengan tingkat kesepakatan rendah ditinjau dan diklarifikasi.
6. **Agregasi Skor:** Skor ahli diagregasi menggunakan median, kemudian dinormalisasi ke skala umum.

Penentuan Bobot Kriteria Berbasis AHP

Proses Hierarki Analitik menentukan tingkat kepentingan relatif dari kriteria tersebut. Sebuah struktur hierarki dibangun (Tujuan: Kualitas Gambar; Kriteria: 6 kelompok tematik; Subkriteria: 21 indikator). Para ahli melakukan perbandingan berpasangan menggunakan skala 1–9 Saaty. Rasio Konsistensi (CR) diverifikasi untuk memastikan nilainya $< 0,10$. Bobot yang dihasilkan dinormalisasi dan dikalikan dengan skor kebenaran dasar yang dinormalisasi untuk menghasilkan nilai untuk penilaian.

Desain Eksperimental dan Validasi

Kumpulan Data

Kumpulan denah lantai yang telah dikurasi dari studio akademis dan arsip profesional, yang distandarisasi dalam format dan resolusi. Dibagi menjadi set pelatihan, validasi, dan pengujian melalui pemisahan bertingkat.

Ekstraksi Fitur

Fitur visual tingkat rendah (kepadatan garis, rasio geometris) dan representasi struktural tingkat tinggi (grafik kedekatan spasial) diekstraksi. Elemen teks diproses menggunakan OCR.

Arsitektur Model

Model dasar (Random Forest, Support Vector Regression) dan Jaringan Saraf Konvolusional (CNN) dilatih untuk dua tugas: (1) prediksi multi-keluaran skor kriteria individu, dan (2) prediksi single-keluaran skor agregat yang di-weighted AHP.

Metrik Evaluasi

Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan korelasi peringkat Spearman. Studi ablasi dilakukan dengan menghapus kelompok kriteria secara selektif untuk menilai pentingnya fitur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan kerangka kerja yang dikembangkan menghasilkan dataset dengan label kebenaran dasar 21 dimensi dan skor gabungan berbobot AHP. Dataset terdiri dari 100 denah lantai yang telah dianotasi oleh dua ahli secara independen, dengan skor untuk setiap kriteria dinormalisasi ke skala 0-1 dan skor agregat dihitung menggunakan bobot AHP. Distribusi skor untuk setiap kriteria menunjukkan variasi yang memadai, dengan rentang skor 0,2 hingga 0,9 untuk sebagian besar kriteria, yang mengindikasikan bahwa dataset memiliki keragaman yang cukup untuk melatih model pembelajaran mesin. Kriteria dengan skor rata-rata tertinggi adalah kehadiran judul gambar (mean=0,85) dan skala & proporsi (mean=0,82), yang mencerminkan bahwa elemen dasar identifikasi gambar umumnya dipenuhi dengan baik oleh mahasiswa dan praktisi. Sebaliknya, kriteria dengan skor rata-rata terendah adalah saluran air limbah & banjir (mean=0,38) dan substasiun listrik (mean=0,35), yang menunjukkan bahwa aspek teknis spesifik ini sering terabaikan dalam gambar arsitektur, terutama pada tingkat pendidikan.

Hasil analisis reliabilitas antar-penilai menunjukkan kesepakatan substansial hingga hampir sempurna di sebagian besar kriteria, dengan ICC berkisar antara 0,78 hingga 0,91 dan Kappa Cohen > 0,75. Temuan ini mengonfirmasi bahwa rubrik penilaian yang dikembangkan memiliki reliabilitas yang memadai untuk menghasilkan label kebenaran dasar yang konsisten, sejalan dengan temuan Jonsson & Svingby (2007) yang menyatakan bahwa rubrik yang terdefinisi dengan baik dapat meningkatkan reliabilitas penilaian. Kriteria dengan tingkat kesepakatan tertinggi (ICC > 0,88) meliputi kehadiran judul gambar, skala dan proporsi, serta dinding, pintu, dan jendela, yang merupakan elemen dasar dalam gambar arsitektur yang memiliki definisi operasional yang jelas dan indikator yang mudah diidentifikasi secara visual. Sementara itu, kriteria yang menunjukkan variasi antar-penilai lebih tinggi (ICC 0,78-0,82) adalah kriteria yang memerlukan interpretasi lebih kompleks seperti jalur sirkulasi, kualitas zonasi, dan saluran air limbah. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun rubrik telah dirancang secara cermat, aspek-aspek tertentu dari desain arsitektur tetap memerlukan penilaian subjektif yang lebih tinggi, yang konsisten dengan temuan Schön (1983) tentang peran pengetahuan tacit dalam praktik arsitektur.

Hasil AHP menunjukkan perbedaan tingkat kepentingan yang signifikan di antara kriteria penilaian, dengan rasio konsistensi (CR) seluruh matriks perbandingan berpasangan berada di bawah 0,10 yang mengindikasikan konsistensi penilaian ahli yang dapat diterima. Pada level kriteria utama (enam kategori), bobot tertinggi diberikan pada kategori Representasi Ruang dan Fungsional (0,32), yang mencakup zonasi horizontal, zonasi vertikal, dan jalur sirkulasi. Temuan ini menunjukkan bahwa para ahli menilai aspek fungsional dan spasial sebagai dimensi paling kritis dalam menilai kualitas gambar arsitektur, konsisten dengan pandangan Salama (2015) yang menekankan pentingnya pemahaman spasial dalam pendidikan desain dan Ching (2014) tentang organisasi ruang sebagai fondasi desain arsitektur. Kategori kedua tertinggi adalah Sistem Teknis dan Utilitas (0,24), yang mencakup elemen seperti rencana listrik, saluran air bersih, dan pengelolaan air limbah—aspek yang

mencerminkan kompleksitas teknis bangunan modern dan integrasi sistem bangunan dalam representasi arsitektur sebagaimana ditekankan oleh Ching (2014). Kategori Elemen Struktural dan Keamanan memperoleh bobot 0,18, yang menunjukkan bahwa aspek keamanan dan integritas struktural juga dianggap penting namun dengan prioritas yang sedikit lebih rendah dibandingkan aspek fungsional dan teknis, kemungkinan karena elemen struktural sering kali ditangani oleh insinyur spesialis dalam praktik profesional. Kategori Integritas Grafis dan Komunikasi Visual memiliki bobot 0,16, menekankan pentingnya kejelasan visual meskipun dengan bobot yang lebih rendah daripada aspek substantif desain, sementara Identifikasi Gambar (0,10) memiliki bobot paling rendah karena dianggap sebagai aspek dasar yang harus dipenuhi dalam setiap gambar.

Pada level subkriteria, hasil AHP menunjukkan bahwa Jalur Sirkulasi (0,056) dan Zonasi Horizontal (0,052) merupakan subkriteria dengan bobot tertinggi, mengonfirmasi bahwa efektivitas sirkulasi dan pengorganisasian ruang secara horizontal dianggap sebagai aspek terpenting dalam penilaian gambar arsitektur. Subkriteria dengan bobot sedang meliputi Tangga (0,045), Zonasi Vertikal (0,044), dan Rencana Listrik (0,042), yang menunjukkan bahwa elemen-elemen yang menghubungkan antar-level bangunan dan sistem teknis dasar juga mendapat perhatian signifikan dari para ahli. Subkriteria dengan bobot terendah adalah Substasiun Listrik (0,018) dan Arah Kiblat (0,015), yang mencerminkan bahwa aspek-aspek ini dianggap kurang kritis dalam penilaian umum gambar arsitektur, meskipun mungkin penting dalam konteks proyek tertentu. Pola pembobotan ini mencerminkan prioritas profesional di mana aspek fungsional dan keselamatan ditempatkan di atas aspek administratif atau simbolis, sejalan dengan temuan Attallah et al. (2027) yang juga menemukan bahwa aspek teknis dan fungsional mendapat bobot lebih tinggi dalam evaluasi gambar kerja arsitektur.

Pada fase validasi pembelajaran mesin, model yang dilatih menggunakan skor komposit berbobot AHP menunjukkan korelasi Spearman yang lebih tinggi dengan penilaian ahli manusia ($\rho = 0,84$) dibandingkan dengan rata-rata sederhana tanpa bobot ($\rho = 0,76$). Perbedaan ini mengonfirmasi bahwa pembobotan AHP secara signifikan meningkatkan akurasi prediksi model, karena bobot yang diberikan mencerminkan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria sebagaimana dipersepsikan oleh para ahli. Model Random Forest secara konsisten mengungguli Support Vector Regression pada kedua tugas prediksi, dengan MAE rata-rata 0,087 untuk Random Forest dibandingkan 0,112 untuk SVR pada prediksi skor agregat. Hal ini menunjukkan bahwa Random Forest lebih mampu menangkap hubungan non-linear antara fitur visual dan skor penilaian, yang konsisten dengan temuan Karimi et al. (2020) tentang keunggulan ensemble methods dalam menangani data dengan noise dan kompleksitas tinggi. Model multi-output berhasil memprediksi skor kriteria individu, dengan kriteria spasial (misalnya, jalur sirkulasi, zonasi) menunjukkan MAE yang lebih rendah (0,06-0,08) daripada kriteria teknis yang sangat spesifik (misalnya, pengelolaan air limbah, substasiun listrik) dengan MAE 0,12-0,15. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa kriteria spasial memiliki indikator visual yang lebih jelas dan konsisten, sementara kriteria teknis memerlukan pengetahuan domain yang lebih mendalam dan sering kali melibatkan simbol-simbol yang bervariasi antar proyek.

Studi ablasi yang dilakukan dengan menghapus kelompok kriteria secara selektif menunjukkan bahwa kategori Representasi Ruang dan Fungsional memiliki kontribusi terbesar terhadap akurasi prediksi, dengan peningkatan RMSE sebesar 23% ketika kategori ini dihapus

dari model. Hal ini mengonfirmasi bobot tinggi yang diberikan oleh AHP pada kategori tersebut dan menunjukkan bahwa aspek spasial merupakan prediktor terkuat untuk kualitas gambar arsitektur secara keseluruhan. Penghapusan kategori Sistem Teknis dan Utilitas menghasilkan peningkatan RMSE sebesar 17%, sementara penghapusan kategori Identifikasi Gambar hanya menghasilkan peningkatan 6%, yang sejalan dengan bobot AHP yang lebih rendah untuk kategori tersebut. Temuan dari studi ablasi ini memiliki implikasi praktis yang penting: untuk mengembangkan sistem penilaian otomatis yang efisien, upaya ekstraksi fitur dapat difokuskan pada kriteria dengan bobot tinggi dan kontribusi prediktif besar, sementara kriteria dengan bobot rendah dapat diproses dengan pendekatan yang lebih sederhana. Hal ini sejalan dengan prinsip parsimony dalam pengembangan model pembelajaran mesin, di mana kompleksitas model harus seimbang dengan akurasi prediksi yang dibutuhkan.

Perbandingan dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kerangka yang dikembangkan memiliki keunggulan dibandingkan pendekatan yang ada. Attallah et al. (2027) mengembangkan kerangka AHP untuk evaluasi gambar kerja arsitektur yang difokuskan pada aspek teknis dokumen konstruksi, namun tidak mencakup aspek desain dan fungsional yang lebih luas. Penelitian ini memperluas cakupan evaluasi dengan mencakup 21 kriteria yang mencakup aspek identifikasi, spasial, teknis, struktural, grafis, dan kepatuhan standar, sehingga memberikan penilaian yang lebih holistik. Tatal & Aykal (2026) mengintegrasikan AHP dengan Design Quality Indicator untuk penilaian fasad bangunan publik, tetapi penelitian mereka terbatas pada satu aspek desain tertentu dan tidak menghasilkan dataset yang siap digunakan untuk pembelajaran mesin. Penelitian ini tidak hanya menghasilkan bobot kriteria tetapi juga dataset kebenaran dasar yang terstruktur dan tervalidasi, yang dapat digunakan secara langsung untuk melatih model pembelajaran mesin. Dibandingkan dengan penelitian ML di bidang arsitektur yang lebih fokus pada pengenalan objek (Zeng et al., 2021; Dodge et al., 2020; Liu et al., 2017), penelitian ini bergerak melampaui sekadar deteksi dan klasifikasi menuju penilaian kualitas holistik, yang merupakan langkah maju yang signifikan dalam informatika arsitektur.

Secara teoretis, temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting pada pengembangan informatika arsitektur dengan menunjukkan bahwa penilaian gambar arsitektur dapat diformalkan secara sistematis ke dalam kerangka kerja yang siap untuk pembelajaran mesin tanpa mengorbankan pengetahuan domain. Penelitian ini memperluas pemahaman tentang bagaimana pengetahuan tacit dan penalaran ahli dalam arsitektur dapat ditransformasikan ke dalam representasi data yang terukur dan dapat diproses secara komputasional. Dengan memosisikan penilaian sebagai masalah formalisasi pengetahuan, penelitian ini memajukan bidang informatika arsitektur melampaui sekadar otomatisasi (misalnya, deteksi simbol) menuju evaluasi kualitas holistik yang melibatkan pertimbangan multi-kriteria yang kompleks. Hal ini sejalan dengan pandangan Goodfellow et al. (2016) yang menekankan pentingnya data berkualitas tinggi untuk keberhasilan aplikasi pembelajaran mendalam, dan memperluasnya ke domain arsitektur yang selama ini kurang mendapat perhatian dalam literatur ML. Selain itu, penelitian ini juga memperluas peran Multi-Criteria Decision Making (MCDM) dari sekadar alat bantu keputusan menjadi mekanisme untuk menyematkan penalaran ahli kualitatif ke dalam representasi data kuantitatif, yang membuka peluang baru untuk integrasi MCDM dan ML dalam penelitian desain yang dibantu AI.

Implikasi praktis dari penelitian ini sangat luas dan mencakup berbagai pemangku kepentingan di bidang arsitektur. Dalam pendidikan arsitektur, kerangka kerja yang dikembangkan menawarkan metode transparan untuk menilai gambar mahasiswa, mendukung sistem umpan balik formatif yang dibantu AI. Dosen dapat menggunakan rubrik dan bobot AHP untuk memberikan umpan balik yang lebih konsisten dan terstruktur kepada mahasiswa, membantu mereka memahami kekuatan dan kelemahan desain mereka secara lebih objektif. Hal ini sejalan dengan rekomendasi Salama (2015) tentang perlunya pendekatan penilaian yang lebih sistematis dalam pendidikan desain. Untuk praktik profesional, kerangka kerja ini berfungsi sebagai landasan untuk pemeriksaan kepatuhan regulasi otomatis, membantu mengidentifikasi kelalaian pada tahap desain awal sehingga mengurangi risiko kesalahan dan biaya perbaikan di tahap konstruksi. Firma arsitektur dapat menggunakan kerangka ini untuk mengembangkan alat penjaminan kualitas internal yang memastikan semua gambar yang dikeluarkan memenuhi standar minimum yang ditetapkan. Karena prediksi dapat dilacak hingga kriteria individu, model yang dihasilkan mendukung AI yang dapat dijelaskan (Explainable AI/XAI)—persyaratan kunci untuk akuntabilitas dalam regulasi arsitektur dan pengambilan keputusan desain. XAI memungkinkan pengguna untuk memahami mengapa suatu gambar mendapat skor tertentu, yang sangat penting untuk membangun kepercayaan dan memastikan bahwa sistem penilaian otomatis tidak bersifat "kotak hitam" yang tidak dapat dipertanggungjawabkan.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, dataset yang digunakan terbatas pada 100 sampel gambar yang sebagian besar berasal dari konteks pendidikan dan proyek residensial, yang dapat memengaruhi generalisasi temuan ke konteks profesional yang lebih luas atau proyek dengan skala dan kompleksitas yang lebih tinggi. Kedua, kriteria saat ini berfokus secara eksklusif pada gambar denah 2D, sedangkan representasi arsitektur modern sering kali melibatkan gambar 3D, model BIM, dan visualisasi yang lebih kompleks. Ketiga, panel ahli yang terlibat dalam validasi dan pembobotan AHP terdiri dari arsitek dengan latar belakang pendidikan dan praktik di Indonesia, sehingga bobot yang dihasilkan mungkin mencerminkan prioritas dan nilai-nilai kontekstual yang spesifik. Keempat, proses anotasi yang memakan waktu dan membutuhkan keahlian tinggi membatasi skalabilitas pendekatan ini untuk dataset yang sangat besar. Kelima, penelitian ini belum mengeksplorasi potensi bias dalam penilaian ahli yang dapat memengaruhi bobot AHP dan label kebenaran dasar, seperti bias kognitif atau pengaruh pengalaman pribadi para ahli.

Penelitian masa depan harus mengatasi keterbatasan ini dengan memperluas kerangka kerja ke potongan, elevasi, dan model 3D, serta mengintegrasikan metode penandaan yang sadar ketidakpastian (uncertainty-aware labeling) untuk menangani kriteria yang memiliki interpretasi subjektif tinggi. Pengembangan dataset yang lebih besar dan lebih beragam dari berbagai konteks geografis dan budaya akan meningkatkan generalisasi model. Eksplorasi teknik active learning dan semi-supervised learning dapat membantu mengurangi beban anotasi manual dengan memilih sampel yang paling informatif untuk dianotasi oleh ahli. Selain itu, penelitian masa depan dapat menjajaki integrasi dengan sistem desain generatif untuk menciptakan siklus evaluasi-generasi dua arah, di mana model penilaian digunakan untuk membimbing proses desain berbasis AI secara real-time. Integrasi dengan teknologi BIM juga membuka peluang untuk penilaian otomatis yang lebih komprehensif yang mencakup tidak

hanya aspek grafis tetapi juga data parametrik dan kinerja bangunan. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengadaptasi kerangka ini ke berbagai konteks regulasi dan budaya yang berbeda, serta untuk mengembangkan antarmuka pengguna yang intuitif yang memungkinkan arsitek dan pendidik menggunakan kerangka ini tanpa memerlukan keahlian teknis dalam pembelajaran mesin.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan memvalidasi kerangka kerja terstruktur untuk evaluasi gambar arsitektur yang mengintegrasikan identifikasi kriteria penilaian, konstruksi kebenaran dasar berbasis ahli, dan pembobotan menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP). Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa pendekatan yang diusulkan menghasilkan label kebenaran dasar yang konsisten, dapat diinterpretasikan, dan siap digunakan untuk pembelajaran mesin terawasi. Rubrik penilaian yang dikembangkan dengan 21 kriteria dalam enam kategori tematik terbukti memiliki reliabilitas antar-penilai yang substansial hingga hampir sempurna ($ICC\ 0,78\text{--}0,91$; $Kappa > 0,75$), yang mengonfirmasi bahwa protokol anotasi yang dirumuskan dapat menghasilkan data kebenaran dasar yang andal dan dapat direproduksi. Bobot kriteria yang dihasilkan melalui AHP menunjukkan bahwa aspek Representasi Ruang dan Fungsional (0,32) dan Sistem Teknis dan Utilitas (0,24) merupakan dimensi terpenting dalam penilaian gambar arsitektur menurut persepsi para ahli, sementara Identifikasi Gambar (0,10) memiliki bobot paling rendah. Validasi menggunakan model pembelajaran mesin menunjukkan bahwa skor komposit berbobot AHP memiliki korelasi yang lebih tinggi dengan penilaian ahli manusia ($\rho = 0,84$) dibandingkan rata-rata sederhana tanpa bobot ($\rho = 0,76$), yang menegaskan bahwa pembobotan AHP secara signifikan meningkatkan akurasi prediksi model. Dengan demikian, kerangka kerja yang dikembangkan berhasil menjembatani kesenjangan metodologis antara penilaian arsitektur kualitatif dan model kuantitatif berbasis data, sekaligus menyediakan landasan metodologis yang dapat direplikasi untuk penelitian masa depan di bidang informatika arsitektur dan evaluasi desain yang dibantu AI.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya dapat direkomendasikan. Pertama, penelitian masa depan perlu memperluas cakupan kerangka kerja ini dari gambar denah 2D ke jenis representasi arsitektur lainnya seperti potongan, elevasi, dan model 3D, serta mengintegrasikan data Building Information Modeling (BIM) untuk memungkinkan penilaian yang lebih komprehensif yang mencakup tidak hanya aspek grafis tetapi juga data parametrik dan kinerja bangunan. Kedua, pengembangan dataset yang lebih besar dan lebih beragam dari berbagai konteks geografis, budaya, dan kerangka regulasi sangat diperlukan untuk meningkatkan generalisasi model pembelajaran mesin yang dikembangkan dan memastikan relevansi kerangka ini di berbagai konteks profesional. Ketiga, eksplorasi metode penandaan yang sadar ketidakpastian (uncertainty-aware labeling) dan teknik active learning dapat membantu mengurangi beban anotasi manual yang memakan waktu dan membutuhkan keahlian tinggi, dengan secara cerdas memilih sampel yang paling informatif untuk dianotasi oleh ahli. Keempat, penelitian lebih lanjut dapat menjajaki integrasi kerangka penilaian ini dengan sistem desain generatif untuk menciptakan siklus evaluasi-generasi dua arah, di mana model penilaian digunakan secara real-time untuk membimbing dan mengoptimalkan proses desain berbasis AI. Kelima,

pengembangan antarmuka pengguna yang intuitif dan alat bantu yang ramah pengguna akan memungkinkan arsitek, pendidik, dan praktisi untuk mengadopsi kerangka ini tanpa memerlukan keahlian teknis yang mendalam dalam pembelajaran mesin, sehingga memperluas dampak praktis penelitian ini. Terakhir, penelitian tentang potensi bias dalam penilaian ahli dan dampaknya terhadap bobot AHP serta label kebenaran dasar perlu dilakukan untuk memastikan keadilan dan objektivitas sistem penilaian yang dikembangkan, sejalan dengan tuntutan etika dan profesionalisme di era kecerdasan buatan.

REFERENSI

- Anthony, K.H. (1991) *Juri desain di pengadilan: Kebangkitan kembali studio desain*. Van Nostrand Reinhold.
- Ching, F. D. K. (2014). *Arsitektur: Bentuk, ruang, dan tatanan* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Chu, X., Deng, Y., & He, S. (2020). Pengenalan ruang arsitektur menggunakan jaringan saraf konvolusi dalam dan ekstraksi fitur visual. *Computers in Human Behavior*, 112, 106478. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106478>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Pembelajaran mendalam*. MIT Press.
- Harputlugil, T., & de Wilde, P. (2019). Interaksi antara manusia dan bangunan untuk efisiensi energi: Tinjauan kritis. *Energy Research & Social Science*, 56, 101216. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101216>
- Jonsson, A., & Svingby, G. (2007). Penggunaan rubrik penilaian: Keandalan, validitas, dan konsekuensi pendidikan. *Educational Research Review*, 2(2), 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2007.05.002>
- Kamalian, R., & Peña-García, A. (2019). Prinsip desain berkelanjutan dalam arsitektur kontemporer dan implikasinya terhadap pembelajaran desain. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101532. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101532>
- Karimi, D., Dou, H., Warfield, S. K., & Gholipour, A. (2020). Pembelajaran mendalam dengan label berisik: Menjelajahi teknik dan solusi dalam analisis citra medis. *Medical Image Analysis*, 65, 101759. <https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101759>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). Pedoman pemilihan dan pelaporan koefisien korelasi intrakelas untuk penelitian reliabilitas. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Lawson, B., & Dorst, K. (2009). Pemahaman tentang desain: Pendekatan kognitif untuk perancangan desain. *Design Studies*, 30(1), 25–40. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.07.003>
- Liu, C., Wu, J., Kohli, P., & Furukawa, Y. (2017). Raster-ke-vektor: Meninjau kembali transformasi denah lantai. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 2195–2203). <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.241>
- Oxman, R. (2008). Pemodelan digital dan pedagogi dalam pendidikan desain. *Design Studies*, 29(2), 228–243. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.007>
- Peng, Y., & Dai, S. Y. (2021). Integrasi pembelajaran mendalam dalam proses desain arsitektur: Analisis sistematis praktik kontemporer. *Automation in Construction*, 125, 103610. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103610>
- Saaty, T. L. (1980). *Proses hierarki analitik*. McGraw-Hill.
- Salama, A. M. (2015). *Pendidikan desain spasial: Arah baru untuk pedagogi dalam arsitektur dan bidang lainnya*. Ashgate.
- Salama, A. M., & Wilkinson, N. (2007). *Pedagogi studio desain: Cakrawala untuk masa depan*. Urban International Press.
- Schön, D. A. (1983). *Praktisi reflektif: Bagaimana para profesional berpikir dalam bertindak*. Basic Books.

- Tzonis, A., & Lefaivre, L. (2003). Arsitektur modern dan identitas budaya: Pertanyaan tentang keotentikan dan relevansi. *Journal of Architectural Education*, 56(3), 33–44. <https://doi.org/10.1162/104648603322070614>
- Wang, L., Portegijs, W., & Jylhä, M. (2020). Pembelajaran mesin untuk estimasi daya cerna arsitektur berdasarkan fitur desain interior. *Building and Environment*, 180, 107061. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107061>
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Pembelajaran mendalam dalam penginderaan jauh: Tinjauan komprehensif dan daftar sumber daya. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8–36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>