

Pengembangan Aplikasi AR Terintegrasi IoT untuk Visualisasi Arsitektur dan Smart Home

Adhitya Andriansyah Putra¹, Irman Hariman²

Universitas Kebangsaan Republik Indonesia

e-mail: ¹adhityaandriansyah@gmail.com, ²irmanhariman@gmail.com

Diajukan: 9 Oktober 2025 ; Direvisi: 22 Oktober 2025 ; Diterima: 27 Oktober 2025

Penelitian ini mengatasi keterbatasan metode visualisasi arsitektur konvensional yang hanya memberikan pemahaman sekitar 70% serta kesenjangan dalam integrasi Augmented Reality (AR) dan Internet of Things (IoT). Tujuannya adalah mengembangkan aplikasi AR terintegrasi dengan sistem IoT untuk visualisasi desain arsitektur dan kontrol perangkat rumah pintar menggunakan pendekatan mixed-method dengan model pengembangan ADDIE. Sistem dibangun menggunakan Unity 3D sebagai engine AR, Vuforia SDK untuk deteksi marker, NodeMCU ESP8266 dengan sensor DHT22 untuk monitoring suhu, serta sistem relay dan Blynk untuk kontrol pencahayaan. Pengujian melibatkan 68 responden menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS), uji akurasi marker, dan evaluasi latensi sistem. Hasil menunjukkan skor SUS sebesar 80,96 (kategori "Good"), akurasi deteksi marker mencapai 92%, dan peningkatan pemahaman pengguna menjadi 85,7% ($p < 0,05$). Sistem monitoring suhu memiliki akurasi ± 1 °C dengan pembaruan setiap 5 detik. Walaupun latensi kontrol IoT mencapai 4000 ms, interaksi tetap dapat diterima untuk konteks rumah pintar. Penelitian ini berhasil mengintegrasikan AR dan IoT secara efektif, memberikan kontribusi nyata terhadap transformasi digital di industri arsitektur serta pengembangan ekosistem bangunan pintar yang interaktif dan efisien.

Kata kunci: *Augmented Reality, Internet of Things, Unity 3D, Vuforia, Smart Home.*

Abstract

This study aims to overcome the limitations of conventional architectural visualization methods, which provide only about 70% user understanding, and address the gap in integrating Augmented Reality (AR) with the Internet of Things (IoT). The research focuses on developing an AR-based application integrated with an IoT system to visualize architectural designs and control smart home devices. A mixed-method approach with the ADDIE development model was applied. The system utilizes Unity 3D as the AR rendering engine, Vuforia SDK for marker detection, NodeMCU ESP8266 with a DHT22 sensor for real-time temperature monitoring, and a relay module integrated with Blynk for lighting control. Evaluation involved 68 respondents using the System Usability Scale (SUS), marker detection accuracy tests, and latency measurements. The results show a SUS score of 80.96, categorized as "Good," and a marker detection accuracy of 92%, exceeding the 80% target. User understanding improved to 85.7%, indicating a significant enhancement compared to conventional methods ($p < 0.05$). The temperature monitoring achieved an accuracy of ± 1 °C with 5-second updates. Although IoT control latency reached 4000 ms, it remained acceptable for smart home interactions. Overall, this research effectively integrates AR and IoT, providing a substantial contribution to digital transformation in architectural visualization and smart building innovation.

Keywords: *Augmented Reality, Internet of Things, Unity 3D, Vuforia, Smart Home.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang, termasuk arsitektur. Industri arsitektur konvensional masih sangat bergantung pada metode konvensional seperti gambar 2D dan model fisik, yang memiliki keterbatasan dalam menyampaikan informasi yang kompleks. Dengan adanya teknologi AR, visualisasi desain menjadi lebih realistis dan interaktif, memungkinkan klien untuk melihat dan berinteraksi dengan model 3D secara langsung di lingkungan nyata [1]. Keberhasilan integrasi ini sangat bergantung pada pemahaman mendalam tentang persepsi visual

manusia, yang memungkinkan elemen digital menyatu secara alami dengan lingkungan fisik, sehingga menciptakan pengalaman yang imersif dan efektif [2]. Selain itu, integrasi AR dengan IoT membuka peluang baru dalam manajemen dan kontrol bangunan pintar, seperti pemantauan suhu dan pencahayaan secara real-time, yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni [3], [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Osorto Carrasco dan Chen menunjukkan bahwa sekitar 85% pengguna *Mixed Reality (MR)* dalam arsitektur menyatakan bahwa teknologi ini lebih efektif dalam menyampaikan informasi desain dibandingkan dengan metode 2D konvensional, yang hanya memiliki tingkat pemahaman sekitar 70% [5]. Penelitian ini memperkuat urgensi pengembangan aplikasi AR untuk visualisasi arsitektur yang lebih interaktif dan informatif. Kondisi ini diperkuat oleh data terkini yang menunjukkan bahwa adopsi teknologi AR di Indonesia mengalami peningkatan 45% pada tahun 2023-2024, terutama dalam sektor konstruksi dan desain arsitektur [6]. Sejalan dengan perkembangan AR, laporan McKinsey Indonesia turut memperkuat argumen ini, mencatat bahwa pasar *Internet of Things (IoT)* di Indonesia diperkirakan mencapai \$3 miliar [7].

Meskipun potensi teknologi digital terlihat menjanjikan, penerapan Augmented Reality (AR) yang terintegrasi dengan *Building Information Modeling (BIM)* dalam bidang arsitektur dan konstruksi masih menghadapi tantangan teknis, seperti akurasi penempatan model dan keterbatasan perangkat [8]. Implementasi *Internet of Things (IoT)* dalam konteks arsitektur juga tidak luput dari permasalahan, mulai dari kompatibilitas perangkat hingga latensi transmisi data. Penelitian Syahidi et al., mengungkapkan bahwa 42% responden melaporkan kesulitan dalam mengelola data sensor *IoT* yang digunakan dalam AR, sementara 36% lainnya menyatakan kurangnya interoperabilitas antar perangkat sebagai hambatan utama. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan terkait pemanfaatan AR dan *IoT*, integrasi komprehensif kedua teknologi ini dalam satu sistem masih sangat terbatas [4].

Penelitian ini menawarkan pendekatan inovatif untuk mengatasi tantangan tersebut. Fokus utamanya adalah mengembangkan aplikasi AR yang tidak sekadar memvisualisasikan desain arsitektur, tetapi juga mengintegrasikannya dengan sistem *IoT* untuk pemantauan dan kontrol kondisi bangunan secara real-time.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed method yang memadukan metode *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan kuantitatif 3 untuk menghasilkan aplikasi *Augmented Reality (AR)* terintegrasi *Internet of Things (IoT)* serta mengevaluasi efektivitas sistem secara empiris. Pemilihan pendekatan mixed methods didasarkan pada karakteristik penelitian yang bertujuan mengembangkan produk teknologi sekaligus mengukur performa dan usability sistem yang dihasilkan. Model pengembangan yang diterapkan adalah *ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)*, yang merupakan kerangka kerja sistematis dan interaktif dalam pengembangan sistem pembelajaran dan teknologi interaktif.

Komponen kuantitatif dalam penelitian ini menerapkan desain eksperimental dengan pengujian performa teknis sistem dan evaluasi pengalaman pengguna menggunakan instrumen *System Usability Scale (SUS)*. Penggunaan pendekatan kuantitatif diperkuat dengan pengumpulan data melalui kuesioner terstruktur dan pengukuran objektif parameter sistem seperti akurasi deteksi marker, latensi komunikasi, serta tingkat kepuasan pengguna.

2.1. Kerangka Kerja Penelitian

Kerangka kerja penelitian ini mengikuti model *ADDIE* yang diadaptasi untuk pengembangan aplikasi AR-IoT dengan penambahan fase validasi dan testing yang komprehensif. Kerangka kerja penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka kerja penelitian menggunakan model ADDIE

Gambar 1 di atas menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Tahapan tersebut meliputi:

1. Analisis (Analysis): Mengidentifikasi masalah, kebutuhan pengguna, dan persyaratan teknis.
2. Perancangan (Design): Merancang arsitektur sistem, antarmuka pengguna (UI/UX), dan model 3D.
3. Pengembangan (Development): Mengimplementasikan kode, mengintegrasikan Vuforia SDK, dan mem program NodeMCU.
4. Implementasi (Implementation): Melakukan deployment aplikasi pada lingkungan testbed dan user acceptance testing.
5. Evaluasi (Evaluation): Menggunakan metode campuran untuk mengumpulkan data kuantitatif dan kualitatif.

2.2. Objek Penelitian

Objek utama penelitian ini adalah aplikasi AR untuk visualisasi desain arsitektur yang terintegrasi dengan sistem IoT untuk monitoring dan kontrol perangkat smart home. Aplikasi yang dikembangkan mencakup tiga komponen utama: modul AR untuk visualisasi model 3D berbasis marker tracking, modul IoT untuk komunikasi dengan sensor DHT22 dan relay kontrol, serta antarmuka pengguna yang memungkinkan interaksi seamless antara dunia virtual dan perangkat fisik.

2.3. Penentuan Jumlah Responden

Penentuan jumlah responden dilakukan menggunakan rumus Slovin karena populasi pengguna potensial aplikasi tidak diketahui secara pasti.

$$n = N / (1 + Ne^2) \quad (1)$$

Keterangan: * n = Ukuran sampel * N = Ukuran Populasi * E = Tingkat Kesalahan (Error tolerance).

Dalam penelitian ini, diasumsikan populasi terjangkau adalah 150 orang (misal nya mahasiswa atau pengguna potensial). Dengan tingkat kesalahan 15% (0,15), maka:

$$n = 150 / (1 + 150(0,15^2)) \quad 34,29$$

Hasil tersebut dibulatkan menjadi 35 responden. Jumlah ini dianggap memadai karena evaluasi usability dengan SUS cukup stabil dengan jumlah 12-30 responden.

3. Hasil dan Pembahasan

bab ini membahas implementasi dan hasil pengujian sistem Augmented Reality terintegrasi IoT untuk visualisasi desain arsitektur yang telah dikembangkan menggunakan metodologi ADDIE. Pembahasan mencakup hasil pengembangan sistem, validasi hipotesis penelitian, serta analisis performa

sistem dalam mengatasi permasalahan visualisasi arsitektur konvensional melalui integrasi teknologi AR dan IoT.

3.1. Tahap Desain

Pada tahap Design dalam metodologi ADDIE, dilakukan perencanaan komprehensif yang mencakup UI/UX, desain marker, dan arsitektur sistem berdasarkan hasil kebutuhan.

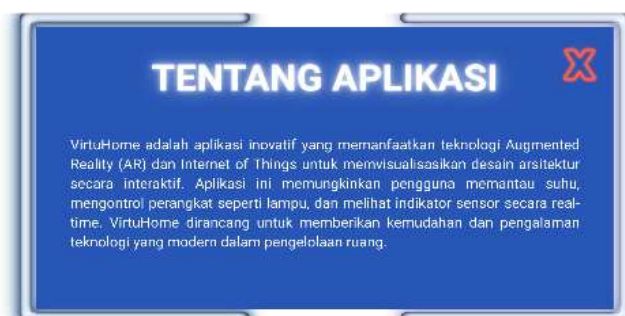
3.1.1. Perancangan UI/UX

Perancangan UI/UX dilakukan berdasarkan prinsip *Human Centered Design* (HCD) untuk meminimalkan kurva pembelajaran pengguna awam. Hasil survei awal yang dilakukan terhadap 15 responden menunjukkan bahwa 62% responden menginginkan navigasi sederhana dengan hierarki informasi yang jelas. Desain antarmuka utama aplikasi AR-IoT yang telah dioptimalkan dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 5.



Gambar 2. Main Menu Aplikasi VirtuHome

Gambar 2 menunjukkan menu utama aplikasi dengan navigasi yang sederhana dan jelas.



Gambar 3. Menu Information VirtuHome

Gambar 3 menampilkan informasi mengenai aplikasi.



Gambar 4. Menu Instruksi VirtuHome

Gambar 4 memberikan petunjuk penggunaan aplikasi kepada pengguna.



Gambar 5. Menu Pengembang VirtuHome

Gambar 5 menyajikan informasi tentang pengembang aplikasi.

3.1.2. Desain Marker

Desain marker menggunakan pola dengan feature points tinggi untuk mencapai rating 4–5 bintang pada Vuforia Target Manager. Pemilihan pola marker didasarkan pada penelitian Sendari et al. yang menunjukkan bahwa Vuforia mampu mencapai tingkat keberhasilan deteksi sebesar 87,5% dalam berbagai skenario uji. Desain marker AR yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Marker

No	Nama Marker	Gambar Marker	Keterangan
1.	Monitoring		Marker ini akan memunculkan data suhu real-time dan tombol kontrol pencahayaan yang terintegrasi dengan sistem IoT.
2.	Rumah Subsidi Depan		Marker ini memunculkan model 3D rumah v1 secara keseluruhan.
3.	Rumah Subsidi Belakang		Marker ini memunculkan model 3D rumah v1 bisa secara keseluruhan atau per lantai dengan pilihan tombol.

No	Nama Marker	Gambar Marker	Keterangan
4.	Type Ruby		Marker ini memunculkan 3 model 3D rumah v2 secara bersamaan lantai 1, lantai 2, dan keseluruhan
5.	Skala LT 1		Marker ini memunculkan 3D rumah v2 menampilkan lantai 1
6.	Skala LT 2		Marker ini memunculkan 3D rumah v2 menampilkan lantai 2

Tabel 1 di atas menampilkan desain marker AR yang telah dioptimalkan untuk mencapai rating deteksi maksimal. Setiap marker memiliki karakteristik visual yang unik dengan kontras tinggi antara area hitam dan putih, serta feature points yang terdistribusi merata untuk memudahkan algoritma Vuforia dalam proses tracking

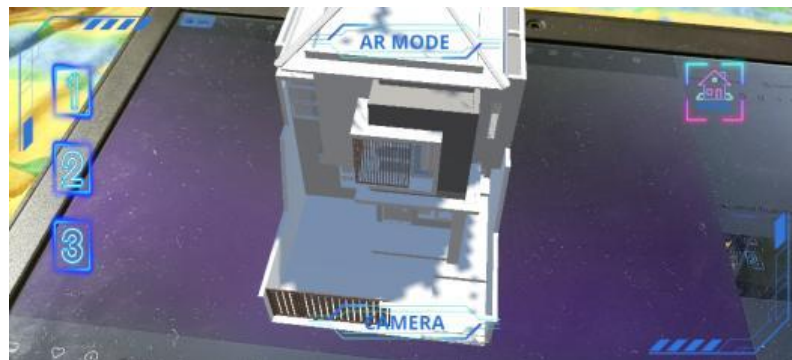
3.2. Tahap Pengembangan

Fase Development dalam metodologi ADDIE melibatkan implementasi coding dan testing inkremental di setiap milestone untuk memastikan fungsionalitas sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Spesifikasi teknis setiap komponen yang digunakan dalam sistem dapat dilihat pada Tabel 2.

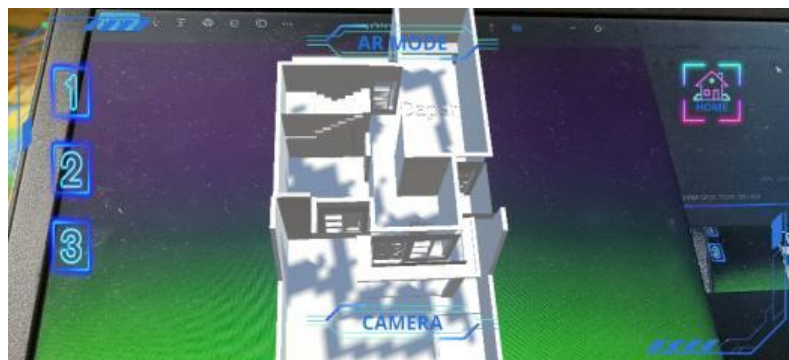
Tabel 2. Speksifikasi Komponen

Komponen	Spesifikasi	Fungsi	Interface
Unity 3D	Version 2021.3 LTS	AR Rendering Engine	C# Script API
Vuforia	SDK 10.28	Marker Detection	Unity Plugin
NodeMCU	ESP8266	IoT Controller	Arduino IDE
DHT22	1 °C Accuracy	Temperature Sensor	Digital Pin
Relay	5V 1 Channel	Light Control	GPIO Control
Blynk	Cloud Platform	IoT Communication	REST API

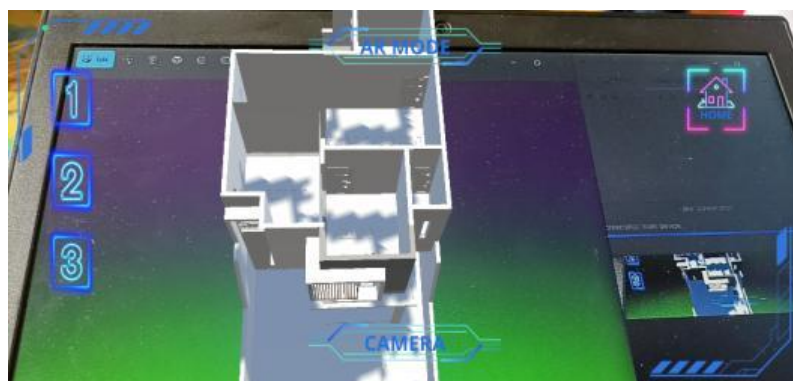
Tabel 2 di atas memberikan gambaran komprehensif tentang spesifikasi teknis setiap komponen yang digunakan dalam sistem. Pemilihan setiap komponen didasarkan pada kompatibilitas, reliabilitas, dan kemampuan integrasi dengan ekosistem teknologi yang dipilih



Gambar 7. Visualisasi Rumah secara Keseluruhan



Gambar 8. Visualisasi Detail rumah Lantai 1



Gambar 6. Visualisasi Detail rumah Lantai 2



Gambar 9. Monitoring dan Kontrol IoT

3.3. Hasil Pengujian

Tahap pengujian merupakan bagian krusial dalam metodologi ADDIE yang bertujuan untuk memvalidasi kinerja sistem AR-IoT yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan secara komprehensif mencakup aspek teknis dan non-teknis untuk memastikan sistem memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan dalam tahap analisis dan desain.

Pengujian sistem AR-IoT dilakukan melalui pendekatan multi-dimensi yang meliputi evaluasi akurasi deteksi marker, validasi kinerja sensor IoT, pengukuran responsivitas sistem, dan analisis pengalaman pengguna. Setiap parameter pengujian telah ditetapkan target kinerjanya berdasarkan standar industri dan penelitian terdahulu untuk memberikan benchmark yang objektif dalam penilaian sistem.

3.3.1. Akurasi Deteksi Marker

Hasil pengujian akurasi deteksi marker pada berbagai kondisi pencahayaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian akurasi deteksi marker pada berbagai kondisi pencahayaan

Test Skenario	Marker Type Ruby	Skala LT 1 Marker	Skala LT 2 Marker	Rumah Subsidi Depan	Rumah Subsidi Belakang	Monitoring marker	Marker Detection Rate
Optimal Lighting (400 -600 Lux)	50%	100%	100%	100%	100%	100%	92%
Low Light (100-200 Lux)	50%	100%	100%	100%	100%	100%	92%
Bright Light (800 - 1000 Lux)	50%	100%	100%	100%	100%	100%	92%

Tabel 3 diatas menunjukkan bahwa akurasi deteksi marker mencapai 92% dalam berbagai kondisi pencahayaan, melebihi target 80%.

3.3.2. Validasi Hipotesis

Hasil validasi hipotesis penelitian dengan analisis statistic dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Validasi Hipotesis penelitian

Hipotesis	Parameter Uji	Target	Hasil Aktual	Status	Signifikasi
H0: Integrasi AR dan <i>IoT</i> dapat meningkatkan pemahaman desain arsitektur > 80%	Tingkat pemahaman pengguna	>80%	85,7% responden menyatakan pemahaman meningkat	Diterima	$p < 0.05$
H1: Antarmuka AR dapat meningkatkan pengalaman pengguna dalam pengendalian perangkat <i>IoT</i>	Skor SUS berdasarkan usia dan pengalaman teknologi	Pengaruh signifikansi	$p = 0,949$ (usia), $p = 0,208$ (pengalaman)	Ditolak	$P > 0.05$
H2: Teknologi Vuforia mampu mendeteksi marker dengan tingkat akurasi tinggi di berbagai kondisi pencahayaan	Akurasi deteksi marker	$\geq 80\%$	$R=0,994$, $R^2 = 0,989$, $P = 0,067$	Diterima Parsial	Trend kuat namun $p > 0.05$
Usability sistem mencapai skor $SUS \geq 70$ (kategori "Good")	Skor SUS	≥ 70	80,96 (68 responden)	Diterima	15,7% di atas target

Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa integrasi AR-IoT efektif dalam meningkatkan pemahaman desain arsitektur (H0), dan sistem memiliki tingkat usability yang baik. Namun, tidak ditemukan pengaruh signifikan dari usia dan pengalaman teknologi terhadap skor SUS (H1). Teknologi Vuforia menunjukkan tren kuat dalam mendeteksi marker dengan akurasi tinggi (H2).

3.3.3. Validasi Akurasi Sensor DHT22

Untuk memastikan bahwa sistem monitoring suhu yang diintegrasikan dengan aplikasi Augmented Reality berjalan sesuai harapan, dilakukan proses validasi terhadap sensor DHT22. Hasil perbandingan pengukuran suhu antara Thermohygrometer dan DHT22 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perbandingan Pengukuran Suhu Thermohygrometer dan DHT22

Tabel 5. Hasil perbandingan pengukuran suhu Thermohygrometer dan DHT22

Pengujian	Thermohygrometer (°C)	DHT22 (°C)
Pengujian 1	28,87	27,91
Pengujian 2	31,75	32,69
Pengujian 3	30,66	31,31
Pengujian 4	29,99	29,41
Pengujian 5	27,78	27,13
Pengujian 6	27,78	27,15

Pengujian 7	27,29	26,9
Pengujian 8	31,33	31,38
Pengujian 9	30,01	29,87
Pengujian 10	30,54	30,12

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, dapat diamati bahwa nilai bacaan sensor DHT22 memiliki kecenderungan yang sangat dekat dengan nilai acuan dari Thermohygrometer. Selisih antara dua alat pengukur ini berada rentang $\pm 0,1$ °C hingga $\pm 0,9$ °C, yang masih termasuk dalam batas akurasi sensor DHT22 sesuai datasheet pabrikan, yaitu ± 1 °C

4. Kesimpulan

Kesimpulan menggambarkan jawaban dari hipotesis dan/atau tujuan penelitian atau temuan *Augmented Reality* yang terintegrasi dengan *Internet of Things* untuk visualisasi desain arsitektur dan *IoT*. Sistem AR yang dikembangkan Mampu menampilkan visualisasi arsitektur interaktif dengan tingkat akurasi deteksi marker yang tinggi. Integrasi perangkat *IoT*, khususnya sensor suhu, menghasilkan data yang akurat dan dapat ditampilkan secara real-time pada antarmuka AR. Fitur kontrol perangkat pintar melalui AR dapat berjalan dengan baik meskipun masih ditemukan keterbatasan berupa latensi yang cukup tinggi. Tingginya latensi disebabkan oleh penggunaan server Blynk Cloud yang memiliki jeda transmisi data bawaan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan protokol MQTT atau server lokal agar respons sistem menjadi lebih real-time. Sistem yang dikembangkan telah menjawab seluruh tujuan penelitian dan berpotensi besar untuk diimplementasikan dalam bangunan pintar maupun sebagai media pendidikan arsitektur. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berhasil menjawab masalah yang dirumuskan, tetapi juga membuka peluang transformasi pada praktikum visualisasi arsitektur di masa depan.

Daftar Pustaka

- [1] "10 Benefits of Augmented Reality for Architecture." Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://provenreality.com/augmented-reality-for-architecture/>
- [2] E. A. Cooper, "The Perceptual Science of Augmented Reality," *Annu. Rev. Vis. Sci.*, vol. 9, pp. 455–478, 2023, doi: 10.1146/annurev-vision-111022-123758.
- [3] A. Mostafa and A. Alaqeeli, "Benefits and Challenges of Integrating IoT, VR & AR in the BIM-based Facility Management Process: Literature and Case-based Analysis," *J. Eng. Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 25–40, 2022, doi: 10.21608/erjeng.2022.265269.
- [4] A. A. Syahidi, K. Arai, H. Tolle, A. A. Supianto, and K. Kiyokawa, "Augmented Reality in the Internet of Things (AR + IoT): A Review," *IJICS (International J. Informatics Comput. Sci.)*, vol. 5, no. 3, p. 258, 2021, doi: 10.30865/ijics.v5i3.3341.
- [5] M. D. Osorto Carrasco and P. H. Chen, "Application of mixed reality for improving architectural design comprehension effectiveness," *Autom. Constr.*, vol. 126, no. March, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103677.
- [6] A. S. Depari, R. Sitepu, Hijriah, A. F. Fadia, and A. A. Putri, "Penerapan Augmented Reality dalam Desain Arsitektur Sebagai Upaya Keberlanjutan di Dunia Konstruksi Andi," no. November, 2024.
- [7] McKinsey Indonesia, "McKinsey & Company: Unlocking Indonesia's Digital Opportunity," *McKinsey Co.*, no. October, pp. 1–28, 2016, [Online]. Available: [https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Locations/Asia/Indonesia/Our Insights/Unlocking Indonesias digital opportunity/Unlocking_Indonesias_digital_opportunity.ashx](https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Locations/Asia/Indonesia/Our%20Insights/Unlocking%20Indonesias%20digital%20opportunity/Unlocking_Indonesias_digital_opportunity.ashx)
- [8] N.-H. Pan and N. N. Isnaeni, "Integration of Augmented Reality and Building Information Modeling for Enhanced Construction Inspection—A Case Study," pp. 233–261, 2024, doi: 10.4018/978-1-5225-2110-5.ch012.