MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i3.9981

ANALISIS KENDALA DAN STRATEGI IMPLEMENTASI *AUGMENTED REALITY* BERBASIS BIM UNTUK *QUALITY CONTROL* PEKERJAAN MEP PADA PROYEK RUMAH SAKIT X

Analysis of Obstacles and Strategies for Implementing BIM-Based Augmented Reality for Quality Control of MEP Work in Hospital Project X

Fadhil Muhammad Suheri, Ari Syaiful Rahman Arifin, Faisal Ashar, Muvi Yandra
Universitas Negeri Padang
arianto41@ft.unp.ac.id; fadhilsuher@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Mar 23, 2026	Apr 20, 2026	May 2, 2026	May 7, 2026

Abstract

The application of digital technology in construction is developing through the integration of Building Information Modeling (BIM) and Augmented Reality (AR), particularly to improve the effectiveness of quality control during the project implementation stage. However, the implementation of AR in construction work still faces obstacles, particularly related to workflow integration, human resource readiness, and the absence of Standard Operating Procedures (SOP). This study aimed to analyze the obstacles and formulate strategies for implementing BIM-based AR in the quality control of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) work on Hospital X project. This study used a descriptive qualitative approach with an evaluative design. Data were collected through observation, interviews with nine informants, and documentation, and were then analyzed using coding and categorization techniques. The results showed that BIM-based AR was able to improve visualization and the accuracy of MEP installation verification through comparison between digital model overlays and actual

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

field conditions. However, its use had not been optimal because it had not been systematically integrated into the quality control workflow. The main obstacles identified were managerial in nature, especially the absence of SOP as an implementation reference. Thus, the required strategies include integrating AR into the quality control workflow, preparing operational guidelines, and developing standardized documentation to support the improvement of MEP work quality in construction projects.

Keywords: Augmented Reality; Building Information Modeling; Quality Control; MEP Work; Hospital Construction

Abstrak: Penerapan teknologi digital dalam konstruksi berkembang melalui integrasi *Building Information Modeling* (BIM) dan *Augmented Reality* (AR), terutama untuk meningkatkan efektivitas pengendalian mutu pada tahap pelaksanaan proyek. Namun, implementasi AR pada pekerjaan konstruksi masih menghadapi kendala, khususnya terkait integrasi alur kerja, kesiapan sumber daya manusia, dan ketiadaan Standar Prosedur Operasional (SOP). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kendala serta merumuskan strategi implementasi AR berbasis BIM dalam *quality control* pekerjaan *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP) pada proyek Rumah Sakit X. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain evaluatif. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara terhadap sembilan informan, dan dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan teknik *coding* dan kategorisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AR berbasis BIM mampu meningkatkan visualisasi dan akurasi verifikasi instalasi MEP melalui perbandingan antara *overlay* model digital dan kondisi aktual di lapangan. Namun, penggunaannya belum optimal karena belum terintegrasi secara sistematis dalam alur *quality control*. Kendala utama yang ditemukan bersifat manajerial, terutama belum tersedianya SOP sebagai acuan implementasi. Dengan demikian, strategi yang diperlukan meliputi integrasi AR dalam alur *quality control*, penyusunan panduan operasional, serta pengembangan dokumentasi yang terstandarisasi untuk mendukung peningkatan mutu pekerjaan MEP pada proyek konstruksi.

Kata Kunci: *Augmented Reality*; *Building Information Modeling*; *Quality Control*; Pekerjaan MEP; Konstruksi Rumah Sakit

PENDAHULUAN

Industri konstruksi modern menuntut tingkat presisi yang sangat tinggi, terutama pada proyek infrastruktur kesehatan yang memiliki regulasi ketat terkait sterilitas dan keamanan sistem bangunan pada proyek pembangunan Rumah Sakit X,(Jatmiko et al., 2023) Menemukan bahwa pekerjaan *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP) menjadi aspek paling kritis sekaligus kompleks. Hal ini disebabkan oleh kepadatan instalasi pada ruang terbatas, seperti jalur pipa gas medis, sistem tata udara (HVAC) untuk ruang operasi, serta jalur kelistrikan darurat yang harus terintegrasi sempurna. Dari penelitian oleh (Olanrewaju et al., 2022) Ketidaksesuaian posisi instalasi sedikit saja di lapangan dapat memicu efek domino

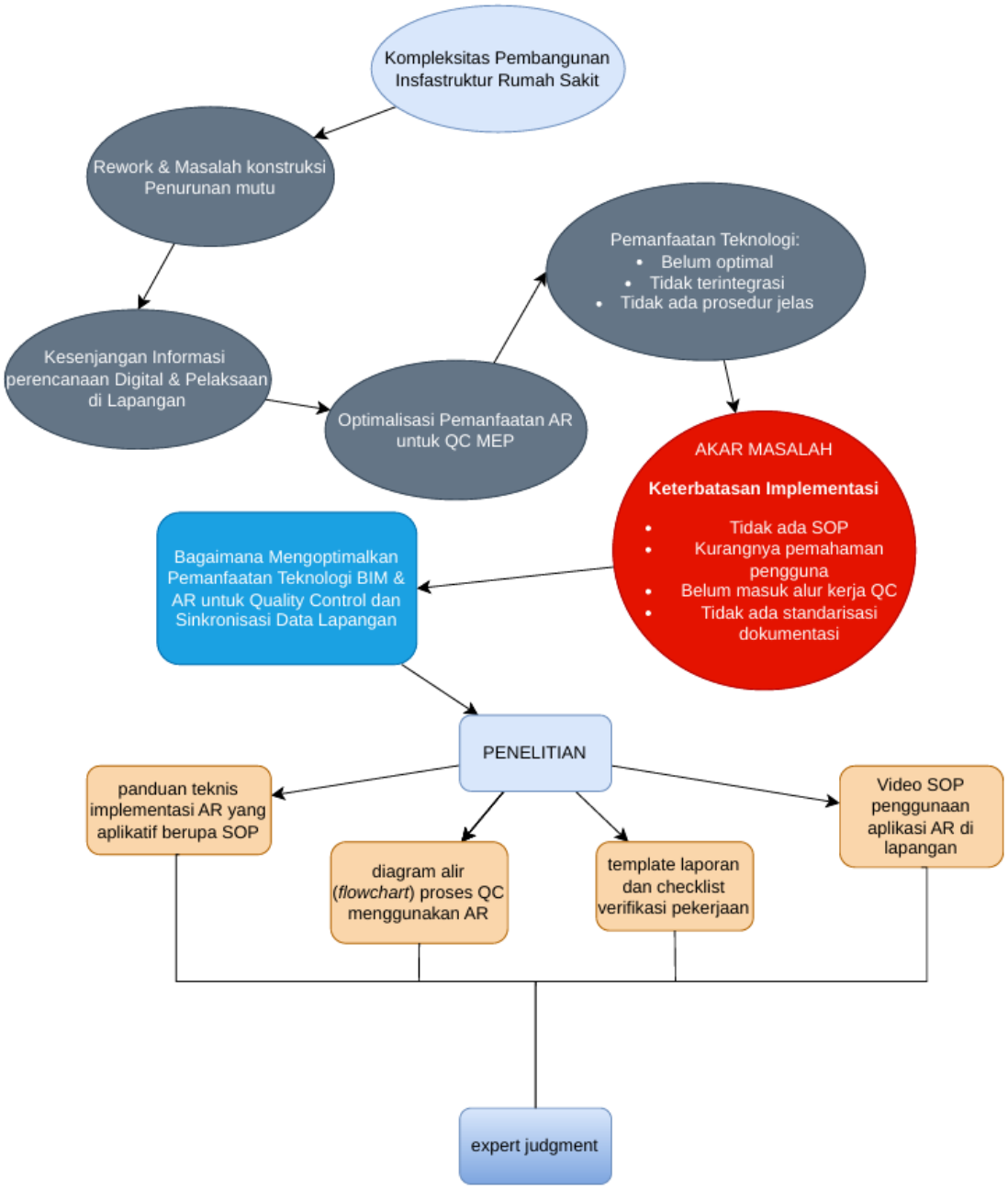
berupa *rework* (pekerjaan ulang) yang tidak hanya membengkakkan biaya, tetapi juga mengganggu jadwal operasional rumah sakit yang krusial. Penelitian oleh Dari penelitian (Rani et al., 2023) Transformasi digital melalui *Building Information* Modeling (BIM) telah memberikan solusi pada tahap perencanaan dengan kemampuan deteksi konflik (clash detection) di lingkungan virtual. (May et al., 2022) Menemukan bahwa terdapat kesenjangan kritis (*critical gap*) saat model digital tersebut diterjemahkan ke lapangan. Metode Q*uality Control* (QC) konvensional yang masih mengandalkan alat ukur manual, gambar kerja 2D, serta pengecekan visual manusia terbukti tidak cukup responsif dalam mendeteksi deviasi posisi pada instalasi MEP yang padat. Sering kali, ketidaksesuaian posisi hanya terdeteksi saat komponen lain akan dipasang, sehingga proses perbaikan menjadi lebih sulit dan mahal. Kemudian penelitian oleh (Sthapit & Olbina, 2026) mengatakan teknologi *Augmented Reality* (AR) yang mulai dikembangkan sebagai alat bantu yang mampu mengintegrasikan model digital dengan kondisi nyata secara *real-time*. Temuan yang paling dekat dengan konteks penelitian ini juga ditunjukkan oleh (Pan & Isnaeni, 2024) AR memungkinkan pengguna untuk melakukan visualisasi model BIM secara langsung di lokasi proyek melalui proses *overlay*, sehingga dapat meningkatkan akurasi dalam proses verifikasi pekerjaan serta mempermudah identifikasi ketidaksesuaian atau clash antar elemen konstruksi. (El Masry & Chronéer, 2025) Penerapan teknologi digital dalam proses pengawasan konstruksi di lapangan masih menghadapi berbagai kendala seperti tingginya biaya investasi perangkat, kesenjangan literasi digital tenaga kerja, serta belum optimalnya kebijakan atau standar internal perusahaan yang mendukung integrasi teknologi dalam proses pengawasan proyek .

Meskipun potensinya besar, celah riset (*research gap*) yang ditemukan dalam penelitian terdahulu menunjukkan bahwa mayoritas studi hanya fokus pada sisi kapabilitas teknologi atau kemudahan visualisasi AR semata. Masih terdapat kekosongan literatur dan praktis mengenai bagaimana AR diintegrasikan secara formal ke dalam birokrasi dan alur kerja inspeksi lapangan. Hal ini menyebabkan penggunaan AR di proyek-proyek besar cenderung bersifat parsial, informis, dan tidak memiliki kekuatan legal sebagai data verifikasi mutu.

Kebaruan (*novelty*) dari artikel ini terletak pada pengembangan strategi optimalisasi yang tidak hanya berfokus pada kecanggihan teknologi, melainkan pada penciptaan kerangka kerja (SOP) yang mengintegrasikan temuan digital AR ke dalam sistem pelaporan QC resmi. Penelitian ini menjadi penting dan relevan untuk dilakukan pada kondisi saat ini karena kompleksitas proyek infrastruktur kesehatan memerlukan sistem pengendalian mutu yang mampu memberikan verifikasi instan guna mencapai target zero-rework.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kendala implementasi AR pada proyek Rumah Sakit X, mengidentifikasi akar penyebab rendahnya sinkronisasi data lapangan, dan merumuskan alur kerja (SOP) yang aplikatif. Kontribusi ilmiah dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan standarisasi baru dalam prosedur pengawasan konstruksi berbasis teknologi digital guna meningkatkan produktivitas dan akurasi pada proyek dengan tingkat kompleksitas tinggi.

Sebagai dasar konseptual, penelitian ini menggunakan pendekatan kerangka berpikir yang disusun berdasarkan hubungan antara kompleksitas proyek, kesenjangan informasi, kendala implementasi teknologi, serta kebutuhan akan sistem pengawasan yang terintegrasi. Kerangka berpikir tersebut divisualisasikan dalam bentuk mind mapping yang menggambarkan alur hubungan antar variabel penelitian, mulai dari identifikasi permasalahan hinggaperumusan strategi optimalisasi.



Gambar 1. Kerangka Berpikir

Gambar tersebut menunjukkan bahwa kendala implementasi teknologi AR tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis, tetapi juga oleh faktor sumber daya manusia, alur kerja, serta sistem dokumentasi. Oleh karena itu, strategi optimalisasi yang dirumuskan dalam penelitian ini bersifat komprehensif dan mencakup berbagai aspek tersebut. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kendala implementasi AR pada proyek Rumah Sakit X, mengidentifikasi akar penyebab rendahnya sinkronisasi data lapangan, dan merumuskan alur kerja (SOP) yang aplikatif. Kontribusi ilmiah dari penelitian

ini diharapkan dapat memberikan standarisasi baru dalam prosedur pengawasan konstruksi berbasis teknologi digital guna meningkatkan produktivitas dan akurasi pada proyek dengan tingkat kompleksitas tinggi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan kerangka evaluasi berbasis *Technology Acceptance Model* (TAM) untuk menganalisis tingkat penerimaan dan pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* di lapangan. Pendekatan kualitatif dipilih untuk memperoleh pemahaman yang mendalam terhadap fenomena implementasi teknologi dalam konteks nyata proyek konstruksi (Creswell, 2014; Patton, 2002). Analisis dilakukan melalui wawancara dan proses *coding* untuk mengidentifikasi persepsi pengguna, kendala implementasi, serta faktor yang mempengaruhi rendahnya tingkat adopsi teknologi.

Selanjutnya, hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan strategi optimalisasi melalui perancangan produk berupa *flowchart quality control* berbasis AR, format laporan, serta panduan penggunaan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kondisi eksisting, tetapi juga menghasilkan solusi implementatif yang sesuai dengan kebutuhan lapangan.

1. Objek dan Fokus Penelitian

Objek penelitian ini adalah implementasi teknologi *Augmented Reality* (AR) berbasis BIM dalam kegiatan pengawasan pekerjaan *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP). Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit X. Pemilihan proyek ini sebagai objek penelitian didasarkan pada karakteristik bangunan fasilitas kesehatan (Rumah Sakit) yang memiliki tingkat kompleksitas utilitas sangat tinggi. Proyek ini melibatkan instalasi jalur gas medis, sistem tata udara (HVAC) khusus ruang steril, dan jaringan elektrikal yang padat, sehingga membutuhkan akurasi pengawasan yang lebih tinggi dibandingkan gedung perkantoran atau hunian.

Fokus penelitian diarahkan pada:

a. Proses Penggunaan AR di Lapangan

b. Interaksi Model BIM dan Kondisi Aktual

c. Kendala Implementasi

d. Optimalisasi Sistem Pengawasan:

2. Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui beberapa teknik pengumpulan data yang dirancang untuk menggali kondisi aktual implementasi *Augmented Reality* (AR) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses *quality control* pekerjaan *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP) pada Proyek rumah sakit, sebagai berikut:

a. Observasi Lapangan

Observasi dilakukan untuk mengamati secara langsung penerapan teknologi AR dalam kegiatan pengawasan konstruksi. Fokus observasi meliputi: proses alignment antara model BIM dan kondisi aktual di lapangan,

1) tingkat kejelasan visualisasi objek MEP melalui AR,

2) proses verifikasi posisi dan elevasi instalasi, serta

3) integrasi penggunaan AR dalam alur kerja quality control di lapangan.

Observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesesuaian antara prosedur yang dilakukan dengan kondisi implementasi aktual, serta mendeteksi potensi deviasi yang terjadi.

b. Wawancara Semi-Terstruktur

Wawancara dilakukan kepada 9 informan yang terdiri dari engineer BIM, pengawas lapangan, dan personel *quality control* yang terlibat langsung dalam penggunaan teknologi AR. Teknik wawancara yang digunakan adalah semi-terstruktur dengan kisi-kisi pertanyaan yang mencakup:

1) pemahaman pengguna terhadap fungsi dan fitur AR,

2) pengalaman penggunaan AR dalam proses inspeksi lapangan,

3) persepsi terhadap efektivitas AR dalam mendukung quality control,

4) kendala yang dihadapi selama implementasi

5) kebutuhan terhadap sistem atau prosedur yang mendukung penggunaan AR.
secara optimal.

Wawancara ini bertujuan untuk menggali informasi mendalam terkait faktor teknis dan non-teknis yang memengaruhi implementasi AR di lapangan.

c. Dokumentasi

3. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara sistematis dengan bantuan ATLAS.ti v2025 melalui langkah-langkah:

a. Reduksi Data

b. Penyajian Data (Network Mapping)

c. Penarikan Kesimpulan dan Evaluasi

d. Penyusunan Strategi Optimalisasi

Tahap akhir berupa perumusan strategi teknis penggunaan GAMMA AR, termasuk:

1) alur penggunaan mulai dari model BIM hingga pelaporan deviasi

2) rekomendasi pemanfaatan fitur aplikasi

3) panduan manual untuk pengguna teknis.

HASIL

Hasil penelitian ini disajikan dalam beberapa bagian utama yang disusun secara sistematis berdasarkan tahapan analisis data. Penyajian diawali dengan gambaran umum hasil wawancara melalui analisis *word frequencies*, yang memberikan indikasi awal terkait pola bahasa dan kecenderungan persepsi informan terhadap implementasi teknologi AR di lapangan. Selanjutnya, disajikan hasil proses *coding* dan kategorisasi data menggunakan ATLAS.ti untuk mengidentifikasi struktur temuan berdasarkan kode dan kategori yang terbentuk. Hasil ini kemudian dikembangkan melalui analisis tematik untuk menghasilkan tema-tema utama yang merepresentasikan kendala implementasi teknologi AR. Untuk memperkuat pemahaman terhadap hubungan antar temuan, ditampilkan visualisasi network mapping serta analisis *co-occurrence* yang menunjukkan keterkaitan antar kode dan kategori.

Pada tahap akhir, disajikan analisis kendala implementasi secara deskriptif-analitis yang dikaitkan dengan teori yang relevan, seperti *Technology Acceptance Model* (TAM*), Diffusion of Innovations*, dan *konsep Building Information Modeling* (BIM). Analisis ini kemudian menjadi dasar dalam penyusunan sintesis permasalahan serta perumusan strategi optimalisasi implementasi teknologi AR dalam proses *quality control* proyek konstruksi.

1. Analisis Kendala Implementasi Teknologi AR di Proyek

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan analisis data berbasis open coding, kategorisasi, dan *thematic analysis* menggunakan perangkat lunak ATLAS.ti untuk mengidentifikasi kendala implementasi teknologi *Augmented Reality* (AR) pada proyek konstruksi. Sebagai tahap awal, dilakukan analisis word frequencies untuk memperoleh gambaran umum pola bahasa informan.

Hasil analisis *word frequencies* menunjukkan bahwa kata-kata seperti "belum", "masih", dan "sistem" merupakan istilah yang dominan muncul dalam pernyataan informan. Secara umum, dominasi istilah tersebut mengindikasikan bahwa implementasi AR masih berada pada tahap awal adopsi dan belum terintegrasi secara optimal dalam sistem kerja proyek.



Gambar 2. word frequencies

Meskipun demikian, analisis *word frequencies* hanya memberikan gambaran awal dan tidak dapat dijadikan dasar utama dalam penarikan kesimpulan, karena tidak merepresentasikan makna kontekstual secara langsung. Oleh karena itu, dilakukan analisis lanjutan melalui proses *coding* untuk memahami pola kendala secara lebih mendalam.

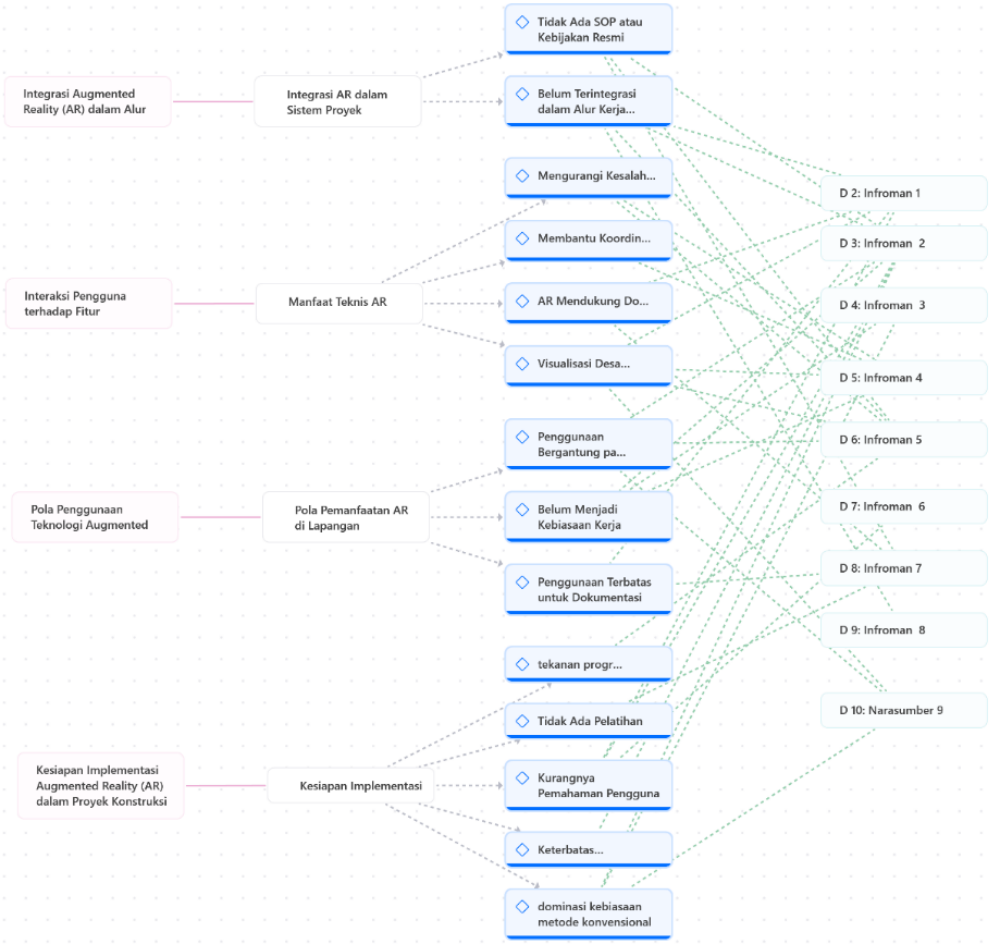
Selanjutnya, dilakukan proses *open coding* untuk mengidentifikasi unit-unit makna dari hasil wawancara. Kode-kode yang memiliki kesamaan karakteristik kemudian dikelompokkan ke dalam kategori yang merepresentasikan aspek-aspek utama dalam implementasi teknologi AR.

	Integrasi AR dalam Sistem Proyek	Kesiapan Implementasi AR	Manfaat Teknis AR	Pola Pemanfaatan AR di Lapangan
2: Infroman 1	2,22%	2,22%	4,44%	2,22%
3: Infroman 2	3,17%	4,76%		3,17%
4: Infroman 3		5,56%		5,56%
5: Infroman 4			8,33%	2,78%
6: Infroman 5	3,70%	1,85%	3,70%	1,85%
7: Infroman 6		11,11%		
8: Infroman 7	2,78%	2,78%	2,78%	2,78%
9: Infroman 8	11,11%			
10: Narasumbe...		3,70%	3,70%	3,70%
Totals	22,99%	31,98%	22,96%	22,06%

Gambar 3. Distribusi Hasil Wawancara ke Kategori

Distribusi hasil *coding* menunjukkan bahwa kategori terkait kesiapan implementasi dan integrasi sistem memiliki frekuensi kemunculan yang dominan, terutama pada kode yang berkaitan dengan kurangnya pelatihan, tidak adanya SOP, serta belum terintegrasinya AR dalam alur kerja proyek. Hal ini mengindikasikan bahwa kendala implementasi tidak hanya berasal dari aspek teknis, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor organisasi dan sistem kerja.

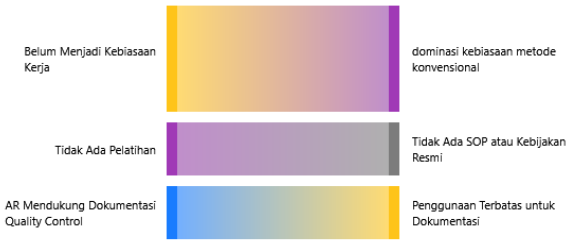
Untuk memahami hubungan antar kode, kategori, dan tema, dilakukan visualisasi menggunakan network mapping pada ATLAS.ti.



Gambar 4. Networks Rangkaian Proses

Visualisasi tersebut menunjukkan bahwa data hasil wawancara tidak berdiri secara terpisah, melainkan saling terhubung dalam suatu struktur yang membentuk tema-tema utama. Hubungan ini mengindikasikan bahwa kendala implementasi teknologi AR bersifat sistemik, di mana aspek kesiapan, integrasi sistem, pola penggunaan, dan interaksi fitur saling mempengaruhi.

Selain itu, dilakukan analisis *co-occurrence* untuk mengidentifikasi keterkaitan antar kode yang sering muncul secara bersamaan.



Gambar 5. Co-occurrence Analysis

Hasil analisis menunjukkan beberapa pola hubungan yang signifikan. Kode "tidak ada SOP atau kebijakan" memiliki keterkaitan dengan "tidak ada pelatihan", yang menunjukkan bahwa lemahnya dukungan organisasi berdampak langsung pada rendahnya kompetensi pengguna. Selain itu, kode "belum menjadi kebiasaan kerja" berkaitan dengan "dominasi metode konvensional", yang mengindikasikan adanya resistensi terhadap perubahan metode kerja. Sementara itu, kode "AR mendukung dokumentasi" berkaitan dengan "penggunaan terbatas untuk dokumentasi", yang menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi belum berkembang ke arah analisis teknis.

Berdasarkan hasil analisis tematik, diperoleh empat tema utama yang merepresentasikan kondisi implementasi AR di lapangan, yaitu: (1) faktor pengaruh implementasi, (2) integrasi dalam alur kerja proyek, (3) interaksi fitur terhadap kebutuhan teknis, dan (4) pola penggunaan teknologi AR.

a. Faktor Pengaruh Implementasi

Faktor pengaruh merupakan aspek dominan yang menentukan keberhasilan implementasi AR, yang meliputi teknologi, sumber daya manusia, dan manajerial. Dari sisi sumber daya manusia, tingkat pemahaman terhadap teknologi masih rendah akibat belum adanya pelatihan, sehingga penggunaan AR belum menjadi kebiasaan kerja. Kondisi ini berkaitan dengan dominasi metode konvensional yang masih dianggap lebih praktis.

Dari sisi manajerial, belum terdapat SOP atau kebijakan resmi yang mengatur penggunaan AR, sehingga implementasinya bersifat tidak terstruktur dan bergantung pada inisiatif individu. Sementara itu, dari sisi teknologi, AR sebenarnya telah mampu mendukung kebutuhan visualisasi dan dokumentasi, namun pemanfaatannya masih terbatas.

b. Integrasi dalam Alur Kerja Proyek

Hasil analisis menunjukkan bahwa AR belum terintegrasi secara sistematis dalam *workflow* proyek, khususnya dalam proses *quality control*. Tidak adanya SOP dan arahan formal menyebabkan penggunaan AR tidak memiliki posisi yang jelas dalam sistem kerja. Selain itu,

hasil verifikasi menggunakan AR belum terdokumentasi dalam sistem pelaporan formal, sehingga kontribusinya terhadap pengendalian mutu menjadi terbatas.

c. Interaksi Fitur terhadap Kebutuhan Teknis

Secara fungsional, fitur AR telah mampu mendukung kebutuhan teknis, terutama dalam visualisasi dan koordinasi pekerjaan. Namun, interaksi pengguna terhadap fitur masih terbatas pada penggunaan dasar. Pemanfaatan AR lebih dominan digunakan untuk dokumentasi dibandingkan analisis teknis, sehingga menunjukkan adanya kesenjangan antara kapabilitas teknologi dan pemanfaatan aktual di lapangan.

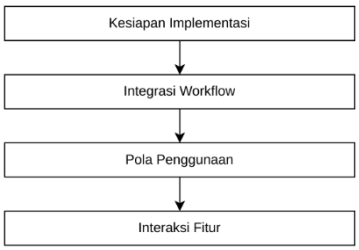
d. Pola Penggunaan Teknologi AR

Pola penggunaan AR di proyek masih bersifat tidak konsisten dan situasional. Teknologi umumnya digunakan hanya untuk kebutuhan tertentu dan belum menjadi bagian dari rutinitas kerja. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat adopsi teknologi masih rendah dan belum terinternalisasi dalam praktik kerja proyek. Kondisi tersebut sejalan dengan temuan (Kassem & Ahmed, 2022) penelitian yang menunjukkan adanya kesenjangan antara adopsi teknologi pada tingkat organisasi dan implementasi aktual di lapangan (*macro–micro divide*), di mana penerapan teknologi belum sepenuhnya terintegrasi dalam aktivitas operasional sehari-hari.

e. Sintesis Analisis Kendala

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, kendala implementasi teknologi AR tidak bersifat parsial, melainkan saling berkaitan dalam suatu sistem. Kesiapan implementasi menjadi faktor dasar yang mempengaruhi aspek lainnya. Rendahnya kesiapan, yang ditandai dengan tidak adanya pelatihan dan SOP, menyebabkan teknologi tidak terintegrasi dalam workflow proyek.

Kondisi ini berdampak pada pola penggunaan yang tidak konsisten, yang selanjutnya membatasi interaksi pengguna terhadap fitur. Akibatnya, pemanfaatan teknologi hanya terbatas pada fungsi dasar dan belum berkembang ke arah analisis teknis dalam proses *quality control*. Untuk memperjelas hubungan tersebut, disusun model konseptual keterkaitan kendala implementasi sebagai berikut.



Gambar 6. keterkaitan kendala implementasi

Model ini menunjukkan bahwa alur kendala dimulai dari aspek kesiapan, kemudian mempengaruhi integrasi dalam *workflow*, yang berdampak pada pola penggunaan, dan akhirnya berimplikasi pada keterbatasan pemanfaatan fitur. Dengan demikian, permasalahan utama implementasi AR tidak terletak pada teknologi, melainkan pada aspek organisasi dan sistem kerja.

2. Perancangan Strategi Optimalisasi Implementasi AR

a. Konsep Dasar Strategi Optimalisasi

Berdasarkan hasil analisis, kendala implementasi teknologi AR bersifat sistemik dengan hubungan sebagai berikut:

Kesiapan → Integrasi *Workflow* → Pola Penggunaan → Interaksi Fitur

Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan utama terletak pada aspek kesiapan organisasi dan integrasi sistem. Oleh karena itu, strategi optimalisasi disusun secara bertahap dan diwujudkan dalam bentuk output penelitian yang langsung dapat menjadi acuan dan rekomendasi untuk proyek.

b. Pemetaan Kendala dan Strategi Optimalisasi

Untuk memastikan strategi yang dirancang tepat sasaran, dilakukan pemetaan antara kendala, dampak, serta strategi yang dihubungkan langsung dengan output penelitian.

No	Kendala Utama	Dampak	Strategi	Pelaksana	Output Penelitian
1	Tidak ada pelatihan dan rendahnya pemahaman AR	Pengguna tidak mampu mengoperasikan AR	Penyusunan panduan penggunaan dan media pembelajaran	Tim BIM / Engineer	Poster panduan penggunaan AR dan video tutorial
2	Tidak ada SOP atau kebijakan resmi	Penggunaan tidak terarah dan tidak konsisten	Penyusunan alur kerja standar penggunaan AR dalam QC	Manajemen proyek	Flowchart alur kerja QC berbasis AR

No	Kendala Utama	Dampak	Strategi	Pelaksana	Output Penelitian
3	AR belum terintegrasi dalam workflow	AR hanya digunakan saat dibutuhkan	Integrasi AR dalam proses QC pekerjaan MEP	Tim QC / Site Engineer	Flowchart QC berbasis AR
4	Penggunaan tidak konsisten dan belum menjadi kebiasaan kerja	AR tidak digunakan secara berkelanjutan	Standarisasi penggunaan AR pada tahapan QC tertentu	Tim proyek	Flowchart QC + panduan penggunaan
5	Pemanfaatan fitur masih terbatas (hanya dokumentasi)	Potensi AR tidak optimal	Pengarahan penggunaan fitur untuk verifikasi dan koordinasi	Engineer / QC	Panduan penggunaan (poster)
6	Tidak ada standar dokumentasi berbasis AR	Hasil tidak terdokumentasi dengan baik	Pengembangan sistem pelaporan berbasis AR	Tim QC	Format laporan QC berbasis AR

c. Prioritas Implementasi Strategi

Strategi optimalisasi disusun berdasarkan hubungan kausal kendala, sehingga implementasi dilakukan secara bertahap:

1) Kesiapan implementasi

melalui poster panduan sebagai media pembelajaran

2) Integrasi dalam workflow QC

melalui *flowchart* alur kerja QC berbasis AR

3) Pembentukan pola penggunaan

melalui penerapan *flowchart* dan panduan sebagai acuan kerja

4) Standarisasi dokumentasi

melalui format laporan QC berbasis AR

Urutan ini menunjukkan bahwa output penelitian tidak berdiri sendiri, tetapi saling mendukung dalam membentuk sistem implementasi yang utuh.

c. Penegasan Strategi

Strategi yang dirancang dalam penelitian ini tidak hanya berupa rekomendasi konseptual, tetapi diwujudkan dalam bentuk output yang aplikatif, yaitu *flowchart* alur kerja QC berbasis AR, format laporan, serta media panduan penggunaan. Keempat output tersebut saling terintegrasi dalam mendukung implementasi teknologi AR, mulai dari aspek sistem kerja, dokumentasi, hingga peningkatan pemahaman pengguna. Dengan demikian,

penggunaan AR tidak lagi bersifat insidental, tetapi menjadi bagian dari proses *quality control* yang terstruktur dan terstandarisasi.

2. Perancangan Strategi Optimalisasi Implementasi AR

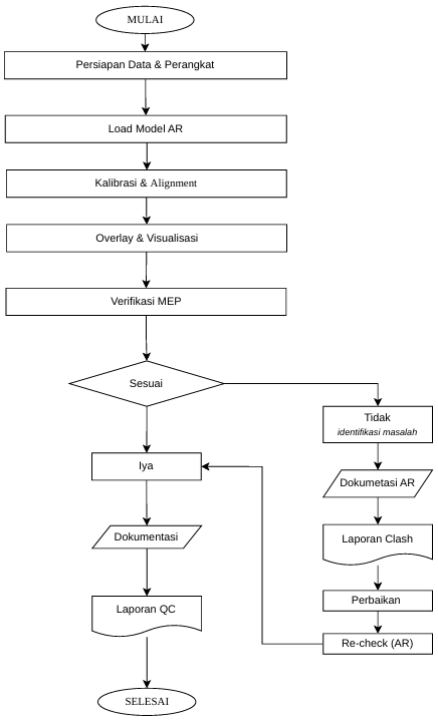
Produk penelitian yang dihasilkan berupa *prototype aplikatif* untuk mendukung implementasi *Augmented Reality* (AR) dalam proses *quality control* pekerjaan MEP, yang meliputi: (1) *flowchart* alur kerja QC berbasis AR, (2) format laporan identifikasi *clash*, dan (3) poster panduan penggunaan AR. Pengembangan produk didasarkan pada hasil analisis kendala yang menunjukkan perlunya integrasi AR dalam alur kerja, peningkatan pemahaman pengguna, serta standarisasi dokumentasi.

Validasi produk dilakukan melalui *expert judgment* yang melibatkan tiga validator, yaitu satu BIM *Engineer*, satu dosen ahli, dan satu praktisi *engineer* atau arsitek. Penilaian menggunakan lembar validasi dengan kriteria kesesuaian alur kerja, kejelasan prosedur, dan potensi implementasi.

Hasil penilaian menunjukkan bahwa produk dinilai layak secara konseptual, dengan beberapa catatan perbaikan terkait penyederhanaan alur dan penyesuaian dengan kondisi lapangan. Oleh karena itu, produk dalam penelitian ini diposisikan sebagai *prototype aplikatif* yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut sebelum implementasi penuh.

a. Flowchart Quality Control Berbasis AR

Produk ini dikembangkan untuk menjawab masalah ketidakteraturan alur kerja yang ditemukan saat observasi. *Flowchart* ini mengatur kapan tim QC harus melakukan *overlay* model dan bagaimana koordinasi dilakukan jika ditemukan deviasi. *Flowchart* Disusun berdasarkan hasil identifikasi hambatan alur kerja, kemudian disederhanakan melalui diskusi dengan BIM *Engineer* agar tidak menambah birokrasi lapangan yang terlalu panjang.



Gambar 7. Flowchart Quality Control Berbasis AR

b. Format Laporan Identifikasi Clash Berbasis AR

Format ini dibuat karena selama ini temuan AR hanya berhenti di layar ponsel tanpa ada arsip resmi. Laporan ini mengintegrasikan *screenshot* AR dengan data teknis seperti lokasi elevasi dan deskripsi penyebab clash.

Format laporan ini mencakup beberapa komponen utama, yaitu:

1) identitas pekerjaan dan lokasi

2) visualisasi hasil temuan (berupa tangkapan layar dari aplikasi AR)

3) deskripsi ketidaksesuaian

4) analisis penyebab

5) rekomendasi tindak lanjut

Pengembangan format laporan ini bertujuan untuk mengatasi kendala pada aspek sistem dokumentasi, dimana sebelumnya hasil identifikasi di lapangan belum terdokumentasi secara terstruktur. Dengan adanya format ini, proses pelaporan menjadi lebih sistematis dan mempermudah koordinasi antar pihak proyek. Produk ini telah dinilai oleh praktisi (BIM *Engineer*) dan dinyatakan layak karena mampu menyediakan data visual yang lebih jelas dibandingkan laporan manual biasa.



LAPORAN QC - INDENTIFIKASI CLASH BERBASIS AR

Informasi Proyek :
Nama Proyek : _____
Lokasi Proyek : _____
Tanggal Pemeriksaan: _____
Pemeriksa / QC Engginer : _____

Kode Temuan: Pekerjaan: MEP
Lokasi Temuan : _____
Jenis Elemen : _____
Jenis Clash : _____

Deskripsi Masalah:

Dokumentasi Berbasi AR
Foto Lapangan | Overlay Model AR

Analisis Penyebab:

Tindakan Perbaikan:

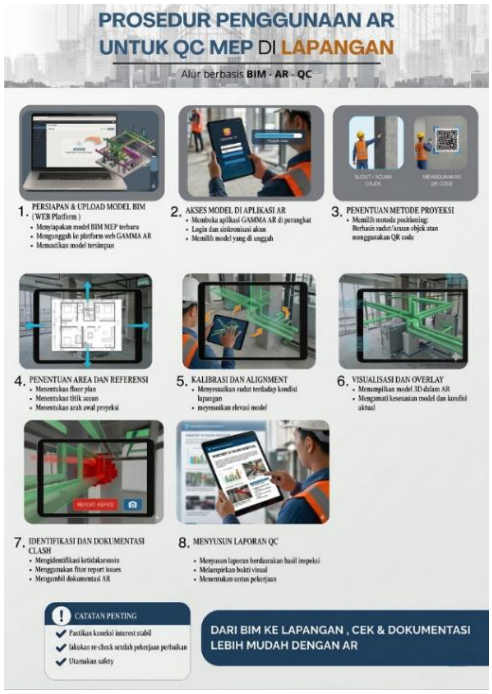
Status Perbaikan: ☐ Belum Diperbaiki ☐ Sedang Diperbaiki ☐ Sedang Diperbaiki
Verivikasi Ulang :
Tanggal Re-Check : _____
Hasil Verivikasi : ☐ Sesuai ☐ Tidak Sesuai

Kesimpulan:
☐ Close ☐ Pending

Gambar 8. Format Laporan Identifikasi Clash Berbasis AR

c. Panduan Penggunaan Teknologi AR

Pengembangan panduan ini bertujuan untuk mengatasi kendala pada aspek sumber daya manusia, khususnya terkait keterbatasan kompetensi pengguna dalam mengoperasikan teknologi AR. Dengan adanya panduan ini, diharapkan pengguna dapat memanfaatkan teknologi secara lebih optimal dan konsisten. Panduan ini telah dievaluasi oleh praktisi untuk memastikan istilah teknis yang digunakan mudah dipahami oleh staf lapangan (QC dan Pengawas) yang bukan ahli BIM.



Gambar 9. Poster Panduan Penggunaan Teknologi AR

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi teknologi *Augmented Reality* (AR) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) pada proses quality control pekerjaan MEP belum berjalan secara optimal, meskipun secara teknis teknologi tersebut telah mampu mendukung kebutuhan visualisasi dan verifikasi di lapangan. Temuan ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara kapabilitas teknologi dan implementasi aktual dalam sistem kerja proyek. Hal ini diperkuat oleh temuan (Sidani et al., 2021) bahwa meskipun AR berbasis BIM memiliki potensi dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi inspeksi, penerapannya di lapangan masih belum optimal akibat berbagai keterbatasan teknis dan operasional

Berdasarkan analisis tematik, kendala utama implementasi AR tidak bersifat parsial, melainkan membentuk hubungan yang sistemik. Rendahnya kesiapan implementasi, yang ditandai dengan belum adanya pelatihan dan ketiadaan SOP, menjadi faktor dasar yang mempengaruhi aspek lainnya. Kondisi ini menyebabkan teknologi tidak terintegrasi dalam alur kerja proyek, sehingga penggunaan AR menjadi tidak konsisten dan hanya bersifat situasional. Akibat dari pola penggunaan yang tidak konsisten tersebut, interaksi pengguna terhadap fitur teknologi juga menjadi terbatas. AR cenderung hanya dimanfaatkan untuk fungsi dasar seperti dokumentasi, dan belum digunakan secara optimal untuk analisis teknis dalam proses *quality control*. Dengan demikian, permasalahan utama bukan terletak pada teknologi, melainkan pada aspek organisasi dan sistem kerja yang belum mampu mengakomodasi pemanfaatan teknologi secara maksimal.

Temuan penelitian ini sejalan dengan konsep *Technology Acceptance Model* (TAM) yang dikemukakan oleh (Davis, 1989) , yang menyatakan bahwa penerimaan teknologi dipengaruhi oleh persepsi kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*) dan persepsi manfaat (*perceived usefulness*). Dalam konteks penelitian ini, rendahnya intensitas penggunaan AR menunjukkan bahwa kedua persepsi tersebut belum terbentuk secara optimal akibat kurangnya pelatihan dan pengalaman pengguna. Selain itu, hasil penelitian juga konsisten dengan teori *Diffusion of Innovations* dari (Everett M. Rogers, 2003), yang menjelaskan bahwa adopsi teknologi berlangsung secara bertahap. Implementasi AR dalam penelitian ini masih berada pada tahap awal (*early adoption*), yang ditandai dengan penggunaan terbatas dan belum terinstitusionalisasi dalam sistem organisasi.

Dalam konteks konstruksi digital, temuan ini juga memperkuat *konsep Building Information Modeling* (BIM) yang menekankan pentingnya integrasi antara model digital dan

proses konstruksi di lapangan. Namun, berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu yang menyoroti keberhasilan AR dalam meningkatkan efisiensi visualisasi, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keberhasilan tersebut tidak otomatis terjadi tanpa dukungan sistem kerja yang terstruktur. Dengan kata lain, penelitian ini memberikan pengembangan perspektif bahwa keberhasilan implementasi AR tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh kesiapan organisasi dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam workflow proyek.

Secara konseptual, penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa implementasi teknologi dalam industri konstruksi harus dilihat sebagai sistem yang melibatkan interaksi antara aspek teknologi, manusia, dan organisasi. Temuan ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan pendekatan evaluatif berbasis integrasi antara TAM dan *Diffusion of Innovations* dalam konteks konstruksi digital. Secara praktis, penelitian ini menghasilkan kontribusi berupa *prototype* aplikatif yang dapat digunakan sebagai dasar implementasi teknologi AR di lapangan. Produk seperti *flowchart* QC berbasis AR, format laporan, dan panduan penggunaan memberikan solusi konkret terhadap permasalahan yang ditemukan, khususnya dalam aspek integrasi *workflow*, standarisasi dokumentasi, dan peningkatan pemahaman pengguna. Implikasi lainnya adalah pentingnya peran manajemen proyek dalam mendorong adopsi teknologi melalui penyediaan SOP, pelatihan, serta integrasi sistem kerja. Tanpa dukungan tersebut, teknologi yang secara teknis sudah siap akan tetap tidak memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kualitas pekerjaan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, jumlah informan yang digunakan relatif terbatas, yaitu sebanyak sembilan orang, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara luas pada seluruh proyek konstruksi. Kedua, penelitian ini berfokus pada satu studi kasus proyek rumah sakit, yang memiliki karakteristik kompleksitas tinggi. Hal ini menyebabkan hasil penelitian sangat kontekstual dan mungkin berbeda jika diterapkan pada jenis proyek lain dengan tingkat kompleksitas yang berbeda. Ketiga, produk yang dihasilkan dalam penelitian ini masih berada pada tahap prototype aplikatif dan telah divalidasi secara terbatas melalui expert judgment. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk menguji efektivitas implementasi produk secara langsung di lapangan dalam jangka waktu yang lebih panjang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi teknologi *Augmented Reality* (AR) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses *quality control* pekerjaan MEP belum berjalan optimal, meskipun secara teknis mampu meningkatkan visualisasi dan akurasi verifikasi di lapangan. Kendala utama yang teridentifikasi tidak terletak pada kemampuan teknologi, melainkan pada aspek organisasi, khususnya rendahnya kesiapan sumber daya manusia, belum tersedianya SOP, serta belum terintegrasinya AR dalam alur kerja proyek. Kondisi tersebut berdampak pada pola penggunaan yang tidak konsisten dan terbatasnya pemanfaatan fitur, sehingga teknologi belum memberikan kontribusi maksimal dalam mendukung proses pengendalian mutu.

Secara ilmiah, penelitian ini memberikan kontribusi dalam memperkuat pemahaman bahwa keberhasilan implementasi teknologi konstruksi digital tidak hanya ditentukan oleh kapabilitas teknologi, tetapi juga oleh kesiapan organisasi dan sistem kerja. Integrasi pendekatan *Technology Acceptance Model* (TAM) oleh Fred D. Davis dan *Diffusion of Innovations* oleh Everett Rogers dalam konteks konstruksi menjadi kontribusi konseptual yang menegaskan bahwa aspek penerimaan pengguna dan proses adopsi memiliki peran krusial. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan kontribusi praktis berupa *prototype* aplikatif yang mencakup *flowchart* QC berbasis AR, format laporan, dan panduan penggunaan sebagai dasar pengembangan implementasi teknologi di lapangan.

Berdasarkan keterbatasan penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengujian implementasi produk secara langsung dalam proyek dengan durasi yang lebih panjang untuk mengukur efektivitasnya secara empiris. Selain itu, perlu dilakukan perluasan jumlah dan variasi objek penelitian agar hasil yang diperoleh memiliki tingkat generalisasi yang lebih tinggi. Pengembangan penelitian juga dapat diarahkan pada integrasi AR dengan sistem BIM yang lebih komprehensif serta evaluasi dampaknya terhadap kinerja proyek secara kuantitatif.

DAFTAR PUSTAKA

Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). SAGE Publications.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

El Masry, A., & Chronéer, D. (2025). Obstacles to BIM adoption in construction production: A study of Swedish construction contractors' experiences. *Buildings, 15*(18), 3288. https://doi.org/10.3390/buildings15183288

Jatmiko, A. D., Poerwanto, L., Tedja, B. G., Louis, L. E., Alexander, D., & Surya, A. (2023). Pemodelan Building Information Modeling Bangunan Rumah Sakit untuk Pengecekan Volume dan Bentrokan. *Arsitekta: Jurnal Arsitektur dan Kota Berkelanjutan, 5*(1), 1–7. https://doi.org/10.47970/arsitekta.v5i01.369

Kassem, M., & Ahmed, A. L. (2022). Digital transformation through Building Information Modelling: Spanning the macro-micro divide. *Technological Forecasting and Social Change, 184*, 122006. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122006

May, K. W., KC, C., Ochoa, J. J., Gu, N., Walsh, J., Smith, R. T., & Thomas, B. H. (2022). The identification, development, and evaluation of BIM-ARDM: A BIM-based AR defect management system for construction inspections. *Buildings, 12*(2), 140. https://doi.org/10.3390/buildings12020140

Olanrewaju, A., Tee, S. H., Lim, P. I., & Wong, W. F. (2022). Defect management of hospital buildings. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 7*(1), 19. https://doi.org/10.1007/s41024-021-00159-6

Pan, N.-H., & Isnaeni, N. N. (2024). Integration of augmented reality and Building Information Modeling for enhanced construction inspection—A case study. *Buildings, 14*(3), 612. https://doi.org/10.3390/buildings14030612

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative Research and Evaluation Methods* (3rd ed.). SAGE Publications.

Rani, H. A., Al-Mohammad, M. S., Rajabi, M. S., & Rahman, R. A. (2023). Critical government strategies for enhancing Building Information Modeling implementation in Indonesia. *Infrastructures, 8*(3), 57. https://doi.org/10.3390/infrastructures8030057

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). Free Press.

Sidani, A., Dinis, F. M., Duarte, J., Sanhudo, L., Calvetti, D., Baptista, J. S., Martins, J. P., & Soeiro, A. (2021). Recent tools and techniques of BIM-based augmented reality: A systematic review. *Journal of Building Engineering, 42*, 102500. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102500

Sthapit, I., & Olbina, S. (2026). Digital twin (DT) and extended reality (XR) in the construction industry: A systematic literature review. *Buildings, 16*(3), 517. https://doi.org/10.3390/buildings16030517