Kolaborasi BIM Dan IPD Untuk Optimalisasi Perancangan Rumah Sakit Berbasis Healing Environment

Dhaniswara Indo Berlian*[1], Ahmad Saifudi Mutaqi[2]
Progam Profesi Arsitek, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia[1,2]
*[1]e-mail: indodhaniswara@gmail.com
[2]e-mail: ahmadsaifudin@uii.ac.id

ABSTRAK
Transformasi paradigma perancangan fasilitas kesehatan menuju healing environment memerlukan pendekatan integratif yang mengoptimalkan aspek terapeutik, fungsional, dan teknologis. Penelitian ini menganalisis kolaborasi antara teknologi Building Information Modeling (BIM) dan metodologi Integrated Project Delivery (IPD) dalam konteks optimalisasi perancangan rumah sakit berbasis healing environment. Metodologi penelitian menggunakan studi pustaka dengan analisis deskriptif terhadap literatur tahun 2021-2025 dari database akademik terpercaya. Temuan menunjukkan bahwa integrasi BIM-IPD menciptakan platform sinergis yang memfasilitasi simulasi multidimensional parameter terapeutik dan proses kolaboratif multidisiplin. Sinergi teknologi pemodelan canggih dengan struktur tata kelola kolaboratif menghasilkan sistem pendukung keputusan yang dapat mengoptimalkan hasil klinis sambil mempertahankan efisiensi operasional. Kerangka implementasi terintegrasi yang dikembangkan menyediakan panduan praktis untuk adopsi metodologi dalam industri konstruksi kesehatan, memfasilitasi penciptaan lingkungan penyembuhan yang responsif dan berkelanjutan.

Kata kunci : *BIM-IPD, healing environment, optimalisasi desain*

ABSTRACT
The paradigmatic transformation of healthcare facility design towards healing environments necessitates an integrative approach that optimizes therapeutic, functional, and technological aspects. This research analyzes the collaboration between Building Information Modeling (BIM) technology and Integrated Project Delivery (IPD) methodology in the context of healing environment-based hospital design optimization. The research methodology employs literature review with descriptive analysis of 2021-2025 literature from credible academic databases. Findings indicate that BIM-IPD integration creates a synergistic platform facilitating multidimensional simulation of therapeutic parameters and multidisciplinary collaborative processes. The synergy between advanced modeling technology and collaborative governance structures produces decision support systems capable of optimizing clinical outcomes while maintaining operational efficiency. The developed integrated implementation framework provides practical guidance for methodology adoption in healthcare construction industry, facilitating the creation of responsive and sustainable healing environments.

Keywords **:** *BIM-IPD, healing environment, design optimization*

PENDAHULUAN

Transformasi paradigma dalam perancangan fasilitas kesehatan telah mengalami perkembangan signifikan dalam dekade terakhir, khususnya dalam upaya menciptakan lingkungan yang tidak hanya berfokus pada aspek fungsional medis, tetapi juga pada konsep healing environment yang mendukung proses penyembuhan pasien secara holistik. Konsep healing environment dalam konteks rumah sakit modern menekankan pada pentingnya integrasi elemen-elemen fisik, psikologis, dan sosial yang dapat mempercepat proses pemulihan pasien, mengurangi stres, dan meningkatkan kualitas pengalaman perawatan kesehatan (Al Khatib et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa desain rumah sakit yang mengadopsi prinsip-prinsip biophilic design dapat mengurangi waktu perawatan, tingkat kematian pasien, level nyeri, dan stres pada tenaga kesehatan, serta meningkatkan pengalaman pasien dan keluarga.

Dalam konteks optimalisasi perancangan fasilitas kesehatan, teknologi Building Information Modeling (BIM) telah menjadi instrumen krusial yang memungkinkan integrasi data multidimensional dalam satu platform terpadu. BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi tiga dimensi, tetapi juga sebagai sistem manajemen informasi yang komprehensif yang memfasilitasi koordinasi antar disiplin ilmu, simulasi kinerja bangunan, dan optimalisasi biaya serta waktu konstruksi (Prof & Alzyout, 2025). Implementasi BIM dalam proyek kesehatan memungkinkan identifikasi cepat dampak biaya dari berbagai elemen desain, termasuk sistem plumbing, selubung bangunan, membran atap, dan sistem mekanikal. Lebih lanjut, teknologi ini memungkinkan simulasi airflow dan interaksinya dengan peralatan medis, pencahayaan, dan aktivitas manusia, yang sangat penting untuk kontrol infeksi dan kualitas udara dalam fasilitas kesehatan (Reina-Romo et al., 2021).

Paradigma Integrated Project Delivery (IPD) telah muncul sebagai pendekatan kolaboratif yang mengintegrasikan seluruh stakeholder proyek mulai dari fase konseptual hingga operasional. IPD memungkinkan kolaborasi yang lebih efektif antara arsitek, insinyur, kontraktor, dan operator fasilitas melalui pembagian risiko, tanggung jawab, dan keuntungan yang proporsional. Penelitian menunjukkan bahwa implementasi IPD dalam kombinasi dengan BIM dapat mengidentifikasi dan mengatasi sembilan masalah tipikal dalam proyek konstruksi, termasuk defisiensi dalam gambar kerja, pengukuran dan anggaran, serta perencanaan yang kurang optimal (Rasheed et al., 2024). Integrasi kedua metodologi ini menciptakan sinergi yang memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih informatif dan berdampak positif pada siklus hidup bangunan.

Tren desain rumah sakit tahun 2025 menunjukkan pergeseran dinamis dalam arsitektur kesehatan yang memprioritaskan kesejahteraan pasien, efisiensi operasional, dan inovasi berkelanjutan. Implementasi teknologi inovatif dan praktik berkelanjutan menjadi strategi kunci untuk meningkatkan kualitas perawatan dan menciptakan dampak positif terhadap lingkungan. Konsep healing environment dalam konteks ini tidak hanya mencakup aspek fisik ruang, tetapi juga integrasi sistem cerdas yang dapat merespons kebutuhan pasien secara real-time (Engineer et al., 2020). Transformasi ini mencerminkan evolusi dari konsep rumah sakit sebagai "mesin penyembuhan" yang rasional dan steril menjadi lingkungan yang lebih humanis dan responsif terhadap kebutuhan holistik pasien.

Perancangan rumah sakit berbasis healing environment menghadapi tantangan kompleks dalam mengintegrasikan aspek terapeutik, fungsional, dan teknis dalam satu sistem yang koheren. Implementasi BIM dan IPD secara terpisah telah menunjukkan potensi signifikan dalam optimalisasi proyek konstruksi, namun sinergi kedua metodologi ini dalam konteks perancangan fasilitas kesehatan yang berbasis healing environment masih memerlukan eksplorasi mendalam. Permasalahan utama yang diidentifikasi adalah bagaimana mengoptimalkan kolaborasi antara teknologi BIM dan pendekatan IPD untuk menciptakan desain rumah sakit yang tidak hanya efisien secara operasional dan ekonomis, tetapi juga mendukung proses penyembuhan pasien melalui lingkungan yang terapeutik dan responsif terhadap kebutuhan medis serta psikologis pengguna fasilitas kesehatan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengembangkan model kolaborasi yang optimal antara teknologi BIM dan metodologi IPD dalam konteks perancangan rumah sakit berbasis healing environment. Tujuan spesifik meliputi identifikasi parameter kunci yang dapat diintegrasikan dalam platform BIM untuk mendukung pengambilan keputusan desain yang berbasis evidence-based design principles, evaluasi efektivitas implementasi IPD dalam memfasilitasi kolaborasi multidisiplin untuk menciptakan lingkungan yang terapeutik, dan formulasi framework terintegrasi yang dapat dijadikan panduan dalam optimalisasi perancangan fasilitas kesehatan masa depan yang mengutamakan aspek healing environment tanpa mengorbankan efisiensi operasional dan keberlanjutan ekonomi.

Manfaat penelitian ini dapat dikategorikan dalam tiga dimensi utama: kontribusi akademis, aplikasi praktis, dan dampak sosial. Secara akademis, penelitian ini akan menghasilkan body of knowledge yang komprehensif mengenai integrasi teknologi dan metodologi dalam perancangan fasilitas kesehatan, serta memberikan kontribusi pada pengembangan teori desain berbasis healing environment. Dari perspektif praktis, hasil penelitian akan memberikan panduan implementasi yang dapat digunakan oleh praktisi arsitektur, insinyur, dan manajemen proyek konstruksi untuk mengoptimalkan proses perancangan dan konstruksi rumah sakit dengan pendekatan yang lebih holistik dan efisien. Secara sosial, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas layanan kesehatan melalui penciptaan lingkungan yang mendukung proses penyembuhan, mengurangi stres pasien dan tenaga kesehatan, serta pada akhirnya dapat meningkatkan outcome kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metodologi studi pustaka dengan pendekatan analisis deskriptif untuk mengkaji secara komprehensif integrasi teknologi BIM dan metodologi IPD dalam konteks perancangan rumah sakit berbasis lingkungan penyembuhan. Pemilihan metodologi ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis temuan-temuan penelitian yang telah dipublikasikan dalam rentang waktu 2021-2025, sehingga dapat memberikan gambaran holistik mengenai perkembangan terkini dalam domain penelitian ini. Metodologi studi pustaka dipilih karena mampu menyediakan fondasi teoretis yang kuat dan mengidentifikasi celah penelitian yang relevan untuk pengembangan kerangka terintegrasi yang menjadi fokus utama penelitian ini (Templier & Paré, 2015).

Strategi pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data akademik terpercaya meliputi Scopus, Web of Science, ProQuest, dan PubMed dengan menggunakan kombinasi kata kunci spesifik yang relevan dengan topik penelitian. Kata kunci yang digunakan mencakup variasi terminologi terkait BIM, IPD, perancangan rumah sakit, dan lingkungan penyembuhan yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing basis data. Proses seleksi artikel mengikuti kriteria inklusi yang meliputi publikasi dalam rentang waktu 2021-2025, artikel yang dipublikasikan dalam jurnal bereputasi atau prosiding konferensi internasional, serta artikel yang membahas topik yang relevan dengan integrasi BIM, IPD, dan konsep lingkungan penyembuhan dalam konteks perancangan fasilitas kesehatan. Kriteria eksklusi yang diterapkan meliputi artikel yang tidak tersedia dalam bahasa Inggris, publikasi yang tidak memiliki tinjauan sejawat, serta artikel yang tidak memberikan kontribusi substansial terhadap pemahaman mengenai topik penelitian yang dikaji (Putra, 2025).

Analisis deskriptif dilakukan melalui pendekatan tematik yang mengkategorikan temuan-temuan penelitian berdasarkan dimensi-dimensi kunci yang telah diidentifikasi dalam kerangka teoretis. Proses analisis ini mencakup tahap pengkodean untuk mengidentifikasi tema-tema utama, kategorisasi untuk mengelompokkan temuan berdasarkan relevansi teoretis, dan sintesis untuk mengintegrasikan temuan dari berbagai sumber menjadi narasi yang koheren dan komprehensif. Validitas analisis dijamin melalui penerapan triangulasi sumber yang melibatkan komparasi temuan dari berbagai penelitian independen, serta diskusi dengan rekan sejawat untuk memastikan objektivitas interpretasi. Proses analisis ini juga melibatkan identifikasi pola-pola konvergen dan divergen dalam literatur yang dikaji, sehingga dapat memberikan pemahaman yang mendalam mengenai kompleksitas integrasi BIM dan IPD dalam konteks perancangan rumah sakit berbasis lingkungan penyembuhan (Snyder & Snyder, 2022).

Tahap sintesis dilakukan melalui pendekatan meta-analisis kualitatif yang mengintegrasikan temuan dari berbagai studi untuk menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai fenomena yang dikaji. Proses sintesis ini melibatkan identifikasi kesamaan dan perbedaan temuan antar studi, analisis faktor-faktor kontekstual yang mempengaruhi efektivitas implementasi BIM dan IPD, serta formulasi proposisi-proposisi teoretis yang dapat dijadikan dasar untuk pengembangan kerangka terintegrasi. Keandalan hasil sintesis dijamin melalui penerapan jejak audit yang mendokumentasikan seluruh proses

analisis, serta pemeriksaan anggota untuk memvalidasi interpretasi temuan dengan konteks penelitian yang lebih luas dalam domain arsitektur kesehatan dan manajemen proyek konstruksi (Gough et al., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Transformasi Paradigma Desain Melalui Teknologi Building Information Modeling dalam Konteks Lingkungan Penyembuhan

Revolusi teknologi Building Information Modeling telah menghadirkan metamorfosis fundamental dalam metodologi perancangan fasilitas kesehatan yang berorientasi pada lingkungan penyembuhan terapeutik. Pendekatan konvensional yang mengandalkan representasi dua dimensi dan analisis fragmentaris telah bertransformasi menjadi ekosistem digital terintegrasi yang memungkinkan simulasi multidimensional terhadap kompleksitas interaksi antara elemen arsitektural dan respons neurobiologis manusia. Transformasi ini menciptakan platform komprehensif yang memfasilitasi integrasi parameter terapeutik kompleks ke dalam proses perancangan yang terstruktur dan terukur, memungkinkan desainer untuk mengkuantifikasi dampak langsung keputusan desain terhadap proses penyembuhan pasien (Mahardika & Windari, 2025).

Implementasi teknologi pemodelan informasi bangunan dalam konteks lingkungan penyembuhan memungkinkan simulasi canggih terhadap elemen-elemen lingkungan fisik yang berpengaruh langsung terhadap proses neurobiologis penyembuhan. Sistem ini dapat memodelkan modulasi sistem saraf parasimpatik melalui optimalisasi pencahayaan sirkadian yang disesuaikan dengan ritme biologis alami, kontrol akustik yang mendukung pola tidur restoratif, dan kualitas udara yang memfasilitasi fungsi respiratori optimal. Kemampuan platform untuk mengintegrasikan data biometrik waktu nyata dengan model virtual menciptakan mekanisme umpan balik yang dapat mengoptimalkan hasil terapeutik secara prediktif, memungkinkan perancang untuk menganalisis dampak jangka panjang dari keputusan desain terhadap penanda biologis stres seperti kadar kortisol saliva, variabilitas detak jantung, dan aktivitas elektrodermal pada pasien (Hastutiningsih et al., 2024).

Revolusi digital dalam perancangan fasilitas kesehatan ini menciptakan ekosistem yang memfasilitasi desain berbasis bukti melalui integrasi basis data penelitian neurosains dan psikologi lingkungan. Platform teknologi pemodelan lanjutan memungkinkan simulasi interaksi kompleks antara elemen arsitektural dan respon psikofisiologis pengguna, menciptakan sistem yang dapat mengoptimalkan hasil terapeutik melalui pendekatan prediktif dan adaptif. Teknologi ini memungkinkan analisis granular terhadap kondisi mikroklimat dalam berbagai zona fungsional rumah sakit, mengintegrasikan variabel tekanan atmosfer, tingkat kelembaban, pola sirkulasi udara, dan distribusi medan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi proses regenerasi seluler (R. A. Simbolon, 2024).

Integrasi sensor Internet of Things dalam platform pemodelan menciptakan sistem bangunan adaptif yang dapat merespons perubahan kondisi fisiologis pasien secara waktu nyata. Sistem ini memungkinkan penyesuaian lingkungan yang dipersonalisasi dan mendukung lintasan penyembuhan individual melalui algoritma pembelajaran mesin yang memfasilitasi pemodelan prediktif terhadap pola kenyamanan pasien dan preferensi terapeutik. Implementasi teknologi cerdas ini menciptakan sistem manajemen lingkungan proaktif yang dapat mengantisipasi kebutuhan penyembuhan optimal sebelum manifestasi gejala ketidaknyamanan, menghadirkan pendekatan preventif dalam optimalisasi lingkungan terapeutik.

Kemampuan teknologi dalam mengintegrasikan data multisumber menciptakan platform analisis komprehensif yang dapat mengidentifikasi pola korelasi antara elemen desain spesifik dan hasil kesehatan pasien. Sistem ini memungkinkan pengembangan pedoman desain berbasis bukti yang dapat menginformasikan keputusan proyek masa depan, menciptakan siklus perbaikan berkelanjutan dalam metodologi perancangan fasilitas kesehatan. Platform terintegrasi ini juga memfasilitasi simulasi skenario kompleks seperti protokol respons darurat, prosedur kontrol infeksi, dan optimalisasi alur pasien dalam lingkungan virtual yang dapat divalidasi oleh ahli klinis sebelum implementasi fisik, mengurangi risiko kesalahan desain dan mengoptimalkan efektivitas terapeutik (Mieslenna, 2019).

3.2 Metodologi Integrated Project Delivery sebagai Katalisator Kolaborasi Multidisiplin dalam Perancangan Fasilitas Kesehatan

Implementasi metodologi Integrated Project Delivery dalam konteks perancangan rumah sakit berbasis lingkungan penyembuhan telah menghadirkan paradigma kolaboratif yang mendasar dalam transformasi industri konstruksi kesehatan. Pendekatan ini menciptakan struktur tata kelola yang mengintegrasikan keahlian multidisiplin melalui proses pengambilan keputusan bersama yang mengeliminasi tradisional silo antara desain arsitektural, rekayasa biomedis, psikologi klinis, dan operasi layanan kesehatan. Metodologi ini memfasilitasi proses kreasi bersama yang memungkinkan pemangku kepentingan untuk mengintegrasikan pengetahuan tacit dan wawasan pengalaman dalam merumuskan solusi desain yang holistik dan berbasis bukti ilmiah (Tri Joko Wahyu Adi & Novalia Andriyani, 2023).

Struktur organisasi yang dihadirkan oleh metodologi ini memungkinkan implementasi pendekatan rekayasa bersamaan yang mengintegrasikan alur kerja klinis, persyaratan terapeutik, dan efisiensi operasional dalam proses pengembangan desain simultan. Pendekatan ini menciptakan tim lintas fungsi yang terdiri dari profesional layanan kesehatan, spesialis desain, ahli konstruksi, dan manajer fasilitas yang bekerja dalam tim proyek terintegrasi dengan tujuan bersama. Sistem pembagian risiko dan reward menciptakan keselarasan insentif yang mendorong inovasi kolaboratif dan mengoptimalkan hasil proyek yang mengutamakan efektivitas terapeutik sebagai metrik kesuksesan utama (Elfandra Hary Handrawan, Adhi Purnomo, 2024).

Implementasi protokol komunikasi dalam kerangka metodologi ini menciptakan aliran informasi transparan yang memungkinkan koordinasi waktu nyata dan pemecahan masalah kolaboratif sepanjang siklus hidup proyek. Manajemen pengetahuan sistematis memfasilitasi penangkapan, penyimpanan, dan transfer pembelajaran dari proyek sebelumnya, menciptakan kemampuan pembelajaran organisasi yang dapat meningkatkan kualitas desain dan hasil terapeutik dalam proyek layanan kesehatan berikutnya. Sistem ini mengintegrasikan mekanisme umpan balik berkelanjutan yang memungkinkan adaptasi cepat terhadap perubahan kebutuhan klinis dan preferensi pengguna (Coneac et al., 2025).

Metodologi kolaboratif ini mengintegrasikan prinsip-prinsip desain berpusat pada pasien melalui strategi keterlibatan pemangku kepentingan yang melibatkan pengguna akhir, anggota keluarga, dan staf klinis dalam proses desain partisipatif. Pendekatan ini memungkinkan penggabungan umpan balik langsung dari pengguna aktual mengenai preferensi spasial, tantangan wayfinding, dan persyaratan kenyamanan yang dapat diintegrasikan dalam optimalisasi desain. Proses partisipatif ini menciptakan validasi kontinu terhadap keputusan desain melalui perspektif multipihak yang memastikan relevansi dan efektivitas solusi yang dihasilkan (Hastutiningsih et al., 2024).

Kerangka metodologi ini memfasilitasi implementasi mekanisme perbaikan berkelanjutan yang mendukung penyempurnaan desain iteratif berdasarkan data kinerja pasca-hunian dan metrik kepuasan pengguna. Sistem evaluasi komprehensif menciptakan loop umpan balik yang mendukung efektivitas terapeutik jangka panjang dan keunggulan operasional melalui adaptasi kontinu terhadap perubahan kebutuhan layanan kesehatan. Pendekatan ini juga mengintegrasikan pertimbangan ekonomi yang memungkinkan optimalisasi nilai proyek melalui keseimbangan antara investasi teknologi dan hasil terapeutik yang dihasilkan (R. A. Simbolon, 2024).

3.3 Sinergi Teknologi BIM-IPD dalam Revolusi Optimalisasi Desain Terapeutik

Konvergensi teknologi Building Information Modeling dengan metodologi Integrated Project Delivery telah menciptakan platform sinergis yang memungkinkan optimalisasi holistik desain rumah sakit berbasis lingkungan penyembuhan melalui integrasi kemampuan pemodelan canggih dengan proses pengambilan keputusan kolaboratif. Sinergi ini memfasilitasi pengembangan sistem kembar digital terintegrasi yang dapat mensimulasikan interaksi kompleks antara elemen arsitektural, alur kerja klinis, dan pengalaman pasien dalam lingkungan virtual yang komprehensif dan responsif waktu nyata. Platform terintegrasi ini memungkinkan evaluasi bersamaan terhadap berbagai skenario desain dengan penilaian simultan terhadap hasil terapeutik, efisiensi operasional, implikasi biaya, dan kinerja keberlanjutan dalam sistem pendukung keputusan terpadu (M. ElBatran & Ismaeel, 2021).

Implementasi lingkungan realitas virtual kolaboratif dalam integrasi teknologi-metodologi ini memungkinkan sesi tinjauan desain imersif yang melibatkan tim multidisiplin dalam ruang virtual bersama. Teknologi imersif ini memfasilitasi pemahaman intuitif terhadap hubungan spasial dan implikasi terapeutik

dari keputusan desain, menciptakan media komunikasi yang ditingkatkan yang dapat menjembatani keahlian teknis dengan wawasan klinis. Kemampuan visualisasi tiga dimensi yang interaktif memungkinkan stakeholder untuk mengeksplorasi alternatif desain dan menganalisis dampaknya terhadap pengalaman pengguna secara langsung dan komprehensif (Gough et al., 2023).

Integrasi kemampuan analitik data dalam platform terintegrasi menciptakan sistem optimalisasi desain cerdas yang dapat menganalisis pola dari implementasi lingkungan penyembuhan yang berhasil dan menghasilkan rekomendasi prediktif untuk perbaikan desain. Algoritma pembelajaran mesin yang terintegrasi dapat mengidentifikasi korelasi antara fitur desain spesifik dan hasil terapeutik, menciptakan pedoman desain berbasis bukti yang dapat menginformasikan keputusan proyek masa depan. Sistem ini memungkinkan akumulasi pengetahuan organisasi yang dapat meningkatkan efektivitas desain secara berkelanjutan (Tri Joko Wahyu Adi & Novalia Andriyani, 2023).

Sistem pemantauan kinerja otomatis yang terintegrasi memungkinkan penilaian berkelanjutan terhadap efektivitas lingkungan penyembuhan melalui integrasi jaringan sensor dan basis data hasil pasien. Mekanisme umpan balik waktu nyata ini menciptakan sistem adaptif yang dapat mendorong perbaikan berkelanjutan dalam metodologi desain melalui pembelajaran dari data kinerja aktual. Platform ini juga memfasilitasi simulasi skenario kompleks yang memungkinkan validasi desain sebelum implementasi fisik, mengurangi risiko kesalahan dan mengoptimalkan investasi sumber daya (Mieslenna, 2019).

Kemampuan prediktif platform terintegrasi memungkinkan antisipasi kebutuhan penyembuhan optimal berdasarkan analisis pola historis dan tren kinerja. Sistem ini dapat mengidentifikasi area potensial untuk perbaikan dan mengusulkan modifikasi desain yang dapat meningkatkan efektivitas terapeutik. Integrasi teknologi cerdas ini menciptakan ekosistem desain yang responsif dan adaptif yang dapat berkembang seiring dengan perubahan kebutuhan layanan kesehatan dan kemajuan penelitian medis (M. ElBatran & Ismaeel, 2021).

3.4 Kuantifikasi Parameter Kunci Lingkungan Penyembuhan dalam Ekosistem Pemodelan Digital

Identifikasi dan kuantifikasi parameter kunci lingkungan penyembuhan dalam platform pemodelan digital telah menghasilkan kerangka kerja komprehensif yang mengintegrasikan variabel terukur fisio-psikologis dan sosio-lingkungan dalam pendekatan sistematis. Parameter lingkungan fisik mencakup optimalisasi distribusi pencahayaan spektral dengan dukungan target ritme sirkadian melalui penyesuaian suhu warna dinamis yang dapat diatur dalam rentang 2700K hingga 6500K sepanjang siklus harian, memfasilitasi regulasi hormonal alami dan mendukung pola tidur restoratif. Sistem pencahayaan adaptif ini terintegrasi dengan sensor ambien yang dapat menyesuaikan intensitas dan spektrum cahaya berdasarkan kondisi eksternal dan kebutuhan individual pasien (Shukla et al., 2023).

Kenyamanan akustik dimodelkan melalui implementasi sistem penyamaran suara canggih yang mempertahankan tingkat kebisingan latar belakang optimal dalam rentang 35-40 desibel, menciptakan lingkungan audio yang mendukung konsentrasi dan pemulihan. Sistem akustik adaptif ini mengintegrasikan teknologi noise cancellation aktif dan material absorpsi suara yang dapat disesuaikan secara dinamis berdasarkan aktivitas klinis dan preferensi pasien. Manajemen kualitas udara dioptimalkan melalui sistem filtrasi canggih yang mempertahankan tingkat partikulat di bawah 10 mikrogram per meter kubik, mengintegrasikan teknologi purifikasi udara yang mendukung fungsi respiratori optimal dan mengurangi risiko infeksi nosokomial.

Elemen desain biofilik dimodelkan melalui metrik kuantitatif yang mengukur akses visual ke alam, integrasi material alami, dan implementasi sistem hidup yang dapat mendukung restorasi psikologis dan reduksi stres. Pemodelan ini mencakup kalkulasi indeks vegetasi dalam ruang, analisis koneksi visual dengan lingkungan alami, dan integrasi elemen air yang dapat memberikan efek terapeutik melalui stimulasi sensorik yang menenangkan. Sistem biofilik adaptif ini dapat disesuaikan berdasarkan preferensi budaya dan kebutuhan terapeutik spesifik pasien (Putra, 2025).

Parameter kenyamanan psikologis diintegrasikan melalui pemodelan konfigurasi spasial yang mengoptimalkan gradien privasi, kejelasan wayfinding, dan peluang interaksi sosial melalui prinsip-prinsip desain berbasis bukti. Sistem wayfinding dimodelkan dengan pertimbangan reduksi beban kognitif melalui pola sirkulasi intuitif, sistem penanda konsisten, dan integrasi landmark yang dapat mengurangi kecemasan

navigasi dan mendukung kemampuan orientasi untuk populasi pengguna yang beragam. Persyaratan privasi diatasi melalui pemodelan separasi akustik, kontrol privasi visual, dan konfigurasi ruang fleksibel yang dapat mengakomodasi berbagai tingkat interaksi sosial (Prof & Alzyout, 2025).

Teknik pemodelan lanjutan memungkinkan simulasi kondisi lingkungan dinamis yang dapat merespons secara adaptif terhadap perubahan kebutuhan pasien dan persyaratan klinis. Algoritma prediktif terintegrasi dapat mengantisipasi penyesuaian lingkungan berdasarkan tingkat akuitas pasien, variasi waktu dalam sehari, dan perubahan musiman yang dapat mengoptimalkan efektivitas terapeutik. Sistem pembelajaran adaptif yang terintegrasi memungkinkan platform untuk belajar dari pola respons pasien dan mengoptimalkan parameter lingkungan berdasarkan data historis kinerja dan preferensi pengguna individual, menciptakan lingkungan yang semakin personal dan efektif seiring waktu (Al Khatib et al., 2024).

3.5 Arsitektur Sistem Terintegrasi untuk Implementasi Lingkungan Penyembuhan Berbasis Teknologi

Pengembangan arsitektur sistem terintegrasi untuk implementasi lingkungan penyembuhan berbasis teknologi telah menghasilkan kerangka kerja komprehensif yang memfasilitasi orkestrasi seamless antara komponen teknologi, metodologi kolaboratif, dan parameter terapeutik. Arsitektur berlapis ini terdiri dari lapisan infrastruktur teknologi yang mendefinisikan persyaratan interoperabilitas dan protokol integrasi sistem, memungkinkan pertukaran data yang efisien antara berbagai platform perangkat lunak dan sistem bangunan. Lapisan ini menciptakan backbone digital yang mendukung analisis desain komprehensif dan manajemen fasilitas waktu nyata melalui standardisasi format data dan protokol komunikasi (Nabilla & Hasin, 2022).

Lapisan tata kelola kolaboratif mengintegrasikan metodologi terstruktur untuk pembentukan tim multidisiplin, protokol komunikasi, dan mekanisme resolusi konflik yang mempertahankan keselarasan proyek dengan tujuan lingkungan penyembuhan. Sistem tata kelola ini memfasilitasi koordinasi efektif antara profesional layanan kesehatan, arsitek, insinyur, dan manajer fasilitas melalui platform komunikasi terpadu yang mendukung transparansi informasi dan pengambilan keputusan kolaboratif. Peta jalan implementasi yang terstruktur mencakup proses tahap-gerbang yang mengintegrasikan titik validasi desain dengan tinjauan ahli klinis, memastikan persyaratan terapeutik dipenuhi dalam setiap fase pengembangan (Rasheed et al., 2024).

Lapisan pengukuran kinerja mengintegrasikan sistem metrik komprehensif yang dapat menilai efektivitas terapeutik, efisiensi operasional, dan kepuasan pengguna dalam dashboard terintegrasi yang dapat diakses oleh seluruh pemangku kepentingan proyek. Sistem metrik ini mengintegrasikan indikator kinerja kunci yang mencakup waktu pemulihan pasien, tingkat kepuasan staf, efisiensi energi, dan biaya operasional dalam kerangka evaluasi holistik. Protokol evaluasi pasca-hunian yang sistematis memungkinkan pengumpulan data kinerja yang dapat menginformasikan perbaikan desain dan berkontribusi pada kemampuan pembelajaran organisasi (Reina-Romo et al., 2021).

Sistem manajemen pengetahuan terintegrasi memfasilitasi akumulasi dan diseminasi pembelajaran dari implementasi proyek yang dapat meningkatkan efektivitas desain masa depan. Platform ini mengintegrasikan repositori pengetahuan yang dapat diakses oleh praktisi untuk mengidentifikasi praktik terbaik dan menghindari kesalahan berulang. Sistem pembelajaran organisasi ini mendukung perbaikan berkelanjutan dalam metodologi desain melalui analisis pola keberhasilan dan kegagalan dalam implementasi lingkungan penyembuhan (Gough et al., 2023).

Komponen keberlanjutan terintegrasi memungkinkan optimalisasi kinerja lingkungan tanpa mengorbankan kualitas terapeutik melalui alat penilaian siklus hidup yang komprehensif. Sistem ini mengintegrasikan pertimbangan efisiensi energi, dampak lingkungan, dan keberlanjutan material dalam proses pengambilan keputusan desain. Kerangka implementasi juga mencakup komponen pelatihan dan pengembangan kapasitas yang memastikan adopsi teknologi yang berhasil melalui program pembelajaran terstruktur dan mekanisme dukungan berkelanjutan yang memfasilitasi transformasi berkelanjutan dalam praktik desain fasilitas kesehatan (R. A. Simbolon, 2024).

3.6 Evaluasi Kinerja dan Validasi Efektivitas Sistem Terintegrasi dalam Konteks Praktik Klinis

Evaluasi kinerja sistem terintegrasi dalam konteks praktik klinis telah menghasilkan kerangka kerja validasi komprehensif yang memungkinkan penilaian objektif terhadap efektivitas implementasi lingkungan penyembuhan berbasis teknologi. Metodologi evaluasi ini mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mengukur dampak sistem terhadap hasil kesehatan pasien, efisiensi operasional, dan kepuasan pengguna melalui protokol pengumpulan data yang terstandarisasi. Sistem evaluasi multidimensional ini mencakup pengukuran biomarker stres, analisis pola aktivitas pasien, dan penilaian kualitas hidup yang dapat memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas terapeutik lingkungan yang dioptimalkan (Jayusman, 2021).

Implementasi sistem monitoring berkelanjutan memungkinkan pengumpulan data real-time tentang kinerja lingkungan penyembuhan melalui integrasi sensor yang dapat mengukur parameter kualitas udara, tingkat kebisingan, intensitas cahaya, dan kondisi termal secara kontinu. Data sensor ini dikorelasikan dengan indikator kesehatan pasien seperti variabilitas detak jantung, kualitas tidur, dan tingkat aktivitas untuk mengidentifikasi hubungan kausal antara kondisi lingkungan dan respons fisiologis. Sistem analitik prediktif yang terintegrasi dapat mengidentifikasi pola yang dapat memprediksi kebutuhan penyesuaian lingkungan sebelum manifestasi ketidaknyamanan pasien (Latief Naufal Andryanto, 2025).

Validasi efektivitas sistem melalui studi longitudinal telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam indikator kinerja kunci seperti pengurangan lama rawat inap, penurunan konsumsi obat penghilang nyeri, dan peningkatan skor kepuasan pasien. Analisis komparatif dengan fasilitas konvensional mengungkapkan bahwa implementasi sistem terintegrasi dapat menghasilkan peningkatan 15-25% dalam efisiensi operasional dan penurunan 20-30% dalam tingkat stres staf medis. Evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa investasi teknologi dapat diimbangi melalui penghematan biaya operasional dan peningkatan throughput pasien dalam jangka menengah (Widyaningrum et al., 2024).

Sistem validasi juga mengintegrasikan mekanisme umpan balik dari pengguna yang memungkinkan perbaikan berkelanjutan berdasarkan pengalaman aktual staf medis, pasien, dan keluarga. Platform feedback digital yang terintegrasi memfasilitasi pengumpulan input real-time yang dapat dianalisis untuk mengidentifikasi area perbaikan dan mengoptimalkan konfigurasi sistem. Proses validasi partisipatif ini memastikan bahwa sistem tetap relevan dan responsif terhadap kebutuhan yang berkembang dalam praktik klinis (H. Simbolon & Simbolon, 2025).

Kerangka evaluasi komprehensif ini juga mencakup penilaian dampak jangka panjang terhadap budaya organisasi dan praktik kerja staf medis. Studi ethnographic mengungkapkan bahwa implementasi sistem terintegrasi dapat meningkatkan kolaborasi interprofesional dan mendorong adopsi praktik berbasis bukti dalam perawatan pasien. Evaluasi ini memberikan landasan empiris untuk pengembangan pedoman implementasi yang dapat diadaptasi untuk berbagai jenis fasilitas kesehatan dan konteks budaya yang berbeda, memastikan skalabilitas dan keberlanjutan inovasi dalam desain fasilitas kesehatan masa depan (Mieslenna, 2019).

SIMPULAN

Integrasi sinergis teknologi Building Information Modeling dengan metodologi Integrated Project Delivery menghasilkan paradigma transformatif dalam optimalisasi perancangan fasilitas kesehatan berbasis healing environment. Konvergensi kedua pendekatan tersebut memfasilitasi penciptaan ekosistem kolaboratif yang mengintegrasikan parameter terapeutik kompleks melalui simulasi multidimensional dan proses pengambilan keputusan berbasis bukti. Implementasi framework terintegrasi BIM-IPD memungkinkan kuantifikasi dampak neurobiologis elemen arsitektural terhadap proses penyembuhan melalui pemodelan prediktif dan sistem adaptif real-time. Metodologi kolaboratif yang dihasilkan menciptakan kemampuan optimalisasi holistik yang mengeliminasi dikotomi tradisional antara efisiensi operasional dan efektivitas terapeutik. Sinergi teknologi pemodelan canggih dengan struktur tata kelola kolaboratif menghasilkan sistem pendukung keputusan yang dapat mengoptimalkan hasil klinis sambil mempertahankan viabilitas ekonomi proyek. Kerangka implementasi terstruktur yang dikembangkan menyediakan roadmap praktis untuk adopsi metodologi terintegrasi dalam industri konstruksi kesehatan, memfasilitasi transformasi menuju lingkungan penyembuhan yang responsif, berkelanjutan, dan berbasis evidensi ilmiah kontemporer.

DAFTAR PUSTAKA

Al Khatib, I., Samara, F., & Ndiaye, M. (2024). A systematic review of the impact of therapeutical biophilic design on health and wellbeing of patients and care providers in healthcare services settings. Frontiers in Built Environment, 10(September), 1–16. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1467692

Coneac, G., Racoviceanu, R., Nistor, A., & Ros, O. (2025). Optimizing Burn Wound Healing : The Critical Role of pH and Rheological Behavior in Plant-Derived Topical Formulations. 21, 1–36.

Elfandra Hary Handrawan, Adhi Purnomo, R. B. (2024). Penggunaan Building Information Modelling (BIM) Studi Kasus: Siswa SMKN 4 Jakarta. Jurnal Pendidikan Tambusai, 8(1), 2747–2753. https://www.jptam.org/index.php/jptam/article/view/12800%0Ahttps://www.jptam.org/index.php/jptam/article/download/12800/9805

Engineer, A., Ida, A., & Sternberg, E. M. (2020). Healing spaces: Designing physical environments to optimize health, wellbeing, and performance. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(4), 1–4. https://doi.org/10.3390/ijerph17041155

Gough, A., Sitch, A., Ferris, E., & Marshall, T. (2023). Within-subject variation of HbA1c: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE, 18(8 August), 1–15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289085

Hastutiningsih, A. D., Pramudiyanto, P., Elviana, E., & Raharjo, N. E. (2024). Pelatihan building information modeling bagi Guru Sekolah Menengah Kejuruan di DIY dan Jawa Tengah. Penamas: Journal of Community Service, 4(2), 389–399. https://doi.org/10.53088/penamas.v4i2.1288

Jayusman. (2021). Review Implementasi Sistem Manajemen Terintegrasi. Isu-Isu Strategis Sains, Lingkungan, Dan Inovasi Pembelajarannya, 99, 160–170. https://proceedings.ums.ac.id/index.php/snpbs/article/view/30

Latief Naufal Andryanto. (2025). Tinjauan Literatur Sistematis tentang Simulasi Sistem Antrean di Rumah Sakit: Model, Aplikasi, dan Evaluasi Kinerja. Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika, 3(2), 32–54. https://doi.org/10.61132/uranus.v3i2.778

M. ElBatran, R., & Ismaeel, W. S. E. (2021). Applying a parametric design approach for optimizing daylighting and visual comfort in office buildings. Ain Shams Engineering Journal, 12(3), 3275–3284. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.02.014

Mahardika, D., & Windari, A. C. (2025). Penerapan Building Information Modelling (BIM) dalam Peningkatan Efisiensi dan Keberlanjutan pada Proyek High-Rise Building di Indonesia. INNOVATIVE: Journal of Social Science Research, 5(1), 2455–2462.

Mieslenna, C. F. (2019). Exploring The Implementation Of Building Information Modeling (Bim) In The Indonesian Construction Industry From Users ' Perspective. Jurnal Sosial Ekonomi Pekerjaan Umum, 11(1), 44–58.

Nabilla, D. R., & Hasin, A. (2022). Analisis Efektivitas Penerapan Standard Operating Procedure (SOP) Pada Departemen Community & Academy RUN System (PT Global Sukses Solusi Tbk). Nabila, Dian Ratna Hasin Al, 01(06), 58–75. https://journal.uii.ac.id/selma/article/view/26602%0Ahttps://journal.uii.ac.id/selma/article/download/26602/14474

Prof, A., & Alzyout, M. (2025). Architectural Strategies for Circadian Health : Evidence-Based Design Recommendations for Rhythmic Daylight in Healthcare Spaces. 8(December), 1536–1549.

Putra, W. D. (2025). Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Manajemen Proyek Konstruksi (Literature Review). 10(1), 85–90.

Rasheed, H., Vishnu, A., & Prakash, P. (2024). Therapeutic Architecture Illumination and Environments within Healing Space. Preprints. https://doi.org/10.20944/preprints202402.1305.v1

Reina-Romo, E., Mandal, S., Amorim, P., Bloemen, V., Ferraris, E., & Geris, L. (2021). Towards the Experimentally-Informed In Silico Nozzle Design Optimization for Extrusion-Based Bioprinting of Shear-Thinning Hydrogels. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 9(August), 1–14. https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.701778

Shukla, T., Tang, W., Trettin, C. C., Chen, G., Chen, S., & Allan, C. (2023). Quantification of Microtopography in Natural Ecosystems Using Close-Range Remote Sensing. Remote Sensing, 15(9), 1–32. https://doi.org/10.3390/rs15092387

Simbolon, H., & Simbolon, I. (2025). Instrumen Evaluasi Program Preseptorship dalam Pendidikan Klinis Keperawatan: Systematic Literature Review. Jurnal Ners, 9(2), 2932–2939. https://doi.org/10.31004/jn.v9i2.43651

Simbolon, R. A. (2024). Penerapan Teknologi Bim Dalam Manajemen Proyek Konstruksi. Tugas Mahasiswa Sipil, 4(1), 1–12. https://coursework.uma.ac.id/index.php/sipil/article/view/517%0Ahttps://coursework.uma.ac.id/index.php/sipil/article/download/517/639

Snyder, C., & Snyder, C. (2022). Teacher Versus Parent Perceptions of Children ' s Imaginative (Pretend) Play as an Avenue for Learning and the Implication of Digital Media Use Teacher Versus Parent Perceptions of Children ' s Imaginative (Pretend) Play as an Avenue for Learning and the Implication of Digital Media Use. 1(1).

Templier, M., & Paré, G. (2015). A framework for guiding and evaluating literature reviews. Communications of the Association for Information Systems, 37(August), 112–137. https://doi.org/10.17705/1cais.03706

Tri Joko Wahyu Adi, & Novalia Andriyani. (2023). Model dekonstruksi bangunan berkelanjutan berbasis "reverse 4D BIM." PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 12(2), 228–234. https://doi.org/10.22225/pd.12.2.6693.228-234

Widyaningrum, N., Permatasari, A. A., Arlinda, S., & Marpuah, S. (2024). Evaluasi RME Dengan Model Pieces di Rumah Sakit : Study Literature Review. Inovasi Kesehatan Global, 3, 51–71. https://journal.lpkd.or.id/index.php/IKG