

Integrating Emerging Technologies to Strengthen Montessori Preschool Learning

Integrasi Teknologi Baru untuk Penguatan Pembelajaran Prasekolah Montessori

Mardhalia Saitakela^{1*}, Dimas Aditya Prabowo², Lily Maria³, Triyono⁴

¹Department of Information Systems, STIKOM Uyelindo Kupang, Indonesia

²Alfabet Inkubator Indonesia, Indonesia

³Pandawan Incorporation, New Zealand

⁴Faculty of Science and Technology, University of Raharja, Indonesia

¹mardhaliasaitakela@gmail.com, ²dimas.prabowo@raharja.info, ³evans@pandawan.ac.nz, ⁴triyono@raharja.info

*Corresponding Author

Article Info

Article history:

Penyerahan Januari 15, 2026

Revisi Februari 18, 2026

Diterima Maret 03, 2026

Diterbitkan Maret 30, 2026

Keywords:

Montessori Learning
Emerging Technologies
Preschool Education
Sensorial Exploration
Digital Learning Tools

Kata Kunci:

Pembelajaran Montessori
Teknologi Baru
Pendidikan Prasekolah
Eksplorasi Sensorik
Alat Belajar Digital



ABSTRACT

In the context of rapidly evolving educational technologies, Montessori preschool learning requires developmentally appropriate innovations that preserve hands-on exploration while enhancing children's cognitive and sensorial growth. **This study aims to investigate the integration of emerging technologies** such as AI-assisted learning applications, multimodal digital storytelling, and sensor-based interactive materials within Montessori environments to understand how these tools can support autonomy, concentration, and individualized learning rhythms. **The approach focuses on a qualitative case study** involving classroom observations, teacher interviews, and analysis of children's learning behaviours, with a total of 206 participants, to capture how technology is adopted and adapted in authentic preschool contexts. **Findings indicate that technology aligned with Montessori principles** increases engagement with sensorial tasks, enriches exploration, strengthens differentiated learning pathways, and provides teachers with accurate insight into developmental progress, although excessive digital exposure may reduce children's interaction with concrete materials. **Therefore, the study concludes that thoughtfully integrated emerging technologies** can serve as a natural extension of Montessori learning when applied moderately, grounded in pedagogical intention, and designed to enhance rather than replace physical and self-directed experiences, ultimately demonstrating that balanced integration offers meaningful benefits for young learners.

This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



ABSTRAK

Dalam konteks perkembangan teknologi pendidikan berkembang pesat, pembelajaran prasekolah Montessori memerlukan inovasi yang sesuai dengan tahap perkembangan anak dengan tetap mempertahankan eksplorasi langsung (*hands-on*) sekaligus meningkatkan perkembangan kognitif dan sensorial anak. **Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji integrasi teknologi mutakhir** seperti aplikasi pembelajaran berbasis AI, digital storytelling multimodal, serta material interaktif berbasis sensor dalam lingkungan Montessori guna memahami bagaimana teknologi tersebut dapat mendukung kemandirian, konsentrasi, dan ritme belajar individual. **Pendekatan penelitian ini menggunakan studi kasus kualitatif**

yang melibatkan observasi kelas, wawancara guru, serta analisis perilaku belajar anak, dengan total 206 responden, untuk menggambarkan bagaimana teknologi diadopsi dan diadaptasi dalam konteks nyata pendidikan prasekolah. **Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi yang selaras dengan prinsip Montessori** mampu meningkatkan keterlibatan dalam aktivitas sensorial, memperkaya eksplorasi, memperkuat jalur pembelajaran terdiferensiasi, serta memberikan wawasan yang lebih akurat kepada guru mengenai perkembangan anak, meskipun paparan digital yang berlebihan berpotensi mengurangi interaksi anak dengan material konkret. **Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi teknologi mutakhir yang dirancang secara tepat** dapat menjadi perpanjangan alami dari pembelajaran Montessori apabila diterapkan secara moderat, berlandaskan tujuan pedagogis, serta berfungsi untuk melengkapi pengalaman pengalamatan fisik dan pembelajaran mandiri, sehingga menunjukkan bahwa integrasi yang seimbang memberikan manfaat yang signifikan bagi anak usia dini.

This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



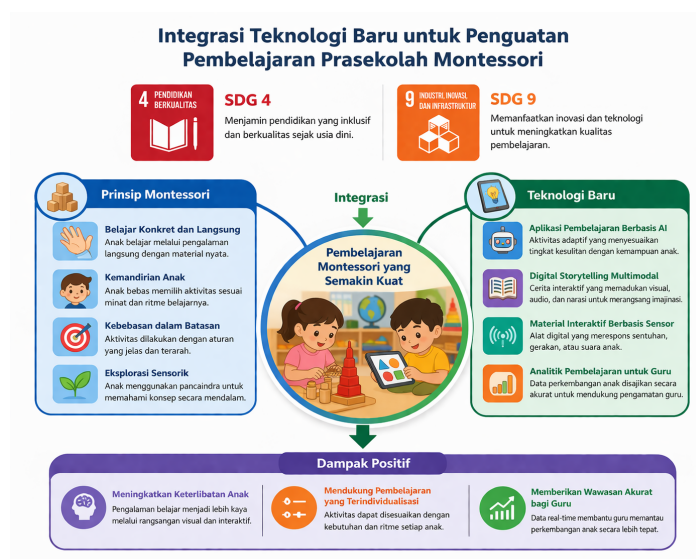
DOI: <https://doi.org/10.33050/mentari.v4i2.1070>

This is an open-access article under the [CC-BY license \(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

©Authors retain all copyrights

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan pada hampir seluruh aspek kehidupan manusia, termasuk pendidikan anak usia dini [1]. Pada tingkat prasekolah, kebutuhan untuk memperkenalkan teknologi secara tepat dan terukur semakin penting seiring meningkatnya tuntutan dunia digital terhadap keterampilan dasar abad ke-21, seperti kreativitas, kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, serta literasi digital dasar yang disesuaikan dengan tahap perkembangan anak. Dalam konteks global, upaya ini juga sejalan dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan ke-4 (*Quality Education*) gambar 1 yang menekankan pentingnya penyediaan pendidikan yang inklusif, adil, dan berkualitas sejak usia dini, serta tujuan ke-9 (*Industry, Innovation, and Infrastructure*) yang mendorong pemanfaatan inovasi teknologi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Di sisi lain, pendidikan anak usia dini tetap menuntut pendekatan yang sensitif terhadap karakteristik belajar anak, karena pada tahap ini perkembangan sensori, motorik halus, emosi, dan kognitif menjadi pondasi utama bagi proses pembelajaran selanjutnya [2].



Gambar 1. Sustainable Development Goals (SDGs)

Montessori sebagai salah satu pendekatan yang dikenal menekankan kemandirian, kegiatan konkret,

eksplorasi bebas, dan pembelajaran sesuai ritme masing-masing anak, telah menjadi pedoman penting bagi banyak lembaga prasekolah di seluruh dunia [3]. Namun, munculnya teknologi baru menuntut adanya penyesuaian dan inovasi agar pendekatan Montessori tetap relevan dan efektif di tengah perubahan pola pembelajaran modern. Tantangan yang muncul bukan hanya mengenai apakah teknologi dapat diterapkan dalam lingkungan Montessori, tetapi bagaimana penerapannya dapat tetap mempertahankan nilai-nilai dasar seperti eksplorasi konkret, *self-directed learning*, konsentrasi mendalam, serta interaksi yang bermakna dengan lingkungan fisik yang kaya rangsangan sensorik [4]. Oleh karena itu, integrasi teknologi baru dalam pembelajaran Montessori memerlukan kajian mendalam yang tidak hanya menilai manfaatnya, tetapi juga mempertimbangkan risiko, batas penggunaan, dan kondisi pedagogis yang harus dipenuhi agar teknologi tidak mengalihkan anak dari pengalaman konkret yang menjadi inti pendidikan Montessori, sekaligus memastikan bahwa implementasinya berkontribusi terhadap pencapaian pendidikan berkualitas yang berkelanjutan dan berbasis inovasi [5, 6].

Perubahan paradigma pendidikan yang semakin mengedepankan literasi digital membuat banyak lembaga prasekolah mulai mempertimbangkan penggunaan aplikasi pembelajaran, perangkat interaktif, cerita digital, hingga alat manipulatif yang berbasis sensor dalam kegiatan sehari-hari di kelas. Teknologi baru tersebut pada dasarnya menawarkan peluang untuk memperkaya pengalaman belajar anak, seperti memberikan stimulus visual dan auditif yang lebih variatif, menghadirkan cerita interaktif yang memfasilitasi imajinasi, menyediakan aktivitas berbasis kecerdasan buatan yang dapat menyesuaikan tingkat kesulitan dengan kemampuan anak, serta membantu guru dalam memantau perkembangan belajar secara lebih sistematis [7]. Namun demikian, pendekatan Montessori memiliki prinsip yang sangat kuat mengenai pentingnya material konkret, keterlibatan indera, ritme belajar personal, serta lingkungan yang memfasilitasi anak untuk bergerak, memilih, dan menyelesaikan aktivitas secara mandiri. Maka, integrasi teknologi tidak bisa sekadar memasukkan perangkat digital ke dalam kelas, melainkan harus melalui proses adaptasi pedagogis yang ketat agar tidak menggeser pusat aktivitas dari dunia nyata ke dunia virtual. Selain itu, beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan teknologi yang tidak tepat dapat mengurangi fokus anak, membatasi interaksi sensorik, dan menurunkan minat pada kegiatan manipulatif yang menjadi inti Montessori [8]. Kondisi ini menunjukkan perlunya penelitian yang mendalam mengenai bagaimana teknologi baru dapat diintegrasikan secara seimbang sehingga tetap memperkuat bukan menggantikan proses eksplorasi konkret anak. Adaptasi yang tepat juga diharapkan mampu memperluas pengalaman belajar, memperkaya aktivitas sensori, serta mendukung guru dalam merancang pembelajaran yang lebih responsif terhadap kebutuhan perkembangan anak usia dini [9].

Berdasarkan konteks tersebut, penelitian ini dilakukan menganalisis dan menggambarkan bagaimana teknologi baru dapat diintegrasikan secara efektif dalam pembelajaran Montessori di tingkat prasekolah tanpa menghilangkan esensi filosofis dan pedagogis yang menjadi pondasinya [10, 11]. Penelitian ini menelaah bentuk-bentuk teknologi yang paling relevan bagi anak usia dini, cara penerapannya di lingkungan kelas yang berbasis Montessori, respon guru terhadap penggunaan teknologi tersebut, serta dampaknya terhadap perkembangan sensori, kognitif, dan kemampuan eksplorasi anak. Dengan pendekatan studi kasus kualitatif, penelitian ini mencoba menangkap dinamika penerapan teknologi dalam kegiatan sehari-hari, termasuk bagaimana guru menyesuaikan instruksi, bagaimana anak merespons rangsangan digital, serta bagaimana teknologi dapat bekerja berdampingan dengan material konkret yang selama ini menjadi ciri khas pembelajaran Montessori [12]. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai strategi penerapan teknologi yang tidak hanya mendukung tujuan pendidikan Montessori, tetapi juga memperkuat keterampilan anak dalam menghadapi dunia yang semakin digital. Secara praktis, temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi lembaga prasekolah, guru, serta pembuat kebijakan pendidikan dalam merancang pendekatan pembelajaran yang seimbang antara teknologi dan eksplorasi fisik, sehingga anak tetap memperoleh pengalaman belajar yang kaya, bermakna, dan sesuai tahap perkembangan [13]. Selain itu, penelitian ini berupaya mendorong diskusi lebih luas mengenai bagaimana konsep Montessori dapat terus berkembang dan beradaptasi tanpa kehilangan identitasnya, sekaligus memastikan bahwa teknologi baru dapat menjadi pelengkap yang memperkuat kualitas pembelajaran dan bukan menjadi distraksi bagi proses perkembangan anak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknologi pada Pendidikan Anak Usia Dini

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan signifikan pada praktik pendidikan anak usia dini. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan perangkat interaktif, aplikasi edukatif, dan multimedia dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, serta perkembangan literasi awal anak melalui stimulus vi-

sual dan auditori yang beragam. Selain itu, studi mengenai *digital learning tools* di PAUD menegaskan bahwa penggunaan media digital secara terarah mampu memperkaya aktivitas bermain-belajar tanpa menghilangkan kebutuhan anak untuk tetap berinteraksi dengan lingkungan fisik [14, 15]. Namun demikian, efektivitas penerapan teknologi pada PAUD sangat bergantung pada kesiapan guru dan pengetahuan mereka tentang pemilihan media yang sesuai usia, sehingga literasi digital pendidik menjadi faktor kunci dalam keberhasilan integrasi teknologi [16].

Di sisi lain, diskursus mengenai risiko penggunaan teknologi tetap menjadi perhatian. Penelitian terbaru memperingatkan bahwa paparan digital berlebihan dapat mempengaruhi konsentrasi dan menurunkan kualitas interaksi sosial apabila tidak diawasi dengan baik. Oleh karena itu, sebagian besar literatur menekankan pentingnya keseimbangan antara pengalaman digital dan permainan konkret. Dengan demikian, teknologi dipandang bukan sebagai pengganti aktivitas motorik dan manipulatif, melainkan sebagai pelengkap yang dapat memperkaya pengalaman belajar apabila digunakan secara moderat, terarah, dan sesuai tujuan pedagogis.

2.2. Pembelajaran Montessori

Metode Montessori tetap menjadi pendekatan pendidikan yang relevan dalam konteks modern [17, 18]. Penelitian terkini menunjukkan bahwa prinsip Montessori seperti kemandirian, kebebasan dalam batasan, aktivitas manipulatif, dan eksplorasi sensori memiliki dampak positif terhadap perkembangan kognitif dan sosial anak. Studi yang menganalisis praktik Montessori menyatakan bahwa ritme belajar individual dan penggunaan materi konkret masih sangat efektif untuk membantu anak membangun pemahaman melalui pengalaman langsung. Literatur terbaru juga menunjukkan meningkatnya ketertarikan akademik terhadap Montessori dalam konteks digital. Topik Montessori pada kurun 2018-2023 mengalami pertumbuhan kajian yang signifikan, terutama pada penelitian yang membandingkan efektivitas metode tradisional dengan model pembelajaran modern. Hasil studi-studi tersebut konsisten bahwa elemen inti Montessori tidak boleh dihilangkan, meskipun inovasi teknologi mulai masuk ke ruang kelas. Pendekatan Montessori tetap menempatkan kontrol pada anak, memberikan ruang eksplorasi konkret, dan menjaga keseimbangan antara kebebasan serta struktur. Hal ini menjadi dasar penting untuk menganalisis bagaimana teknologi dapat disesuaikan tanpa mengubah karakter pedagogi Montessori [19].

2.3. Integrasi Teknologi dalam Montessori

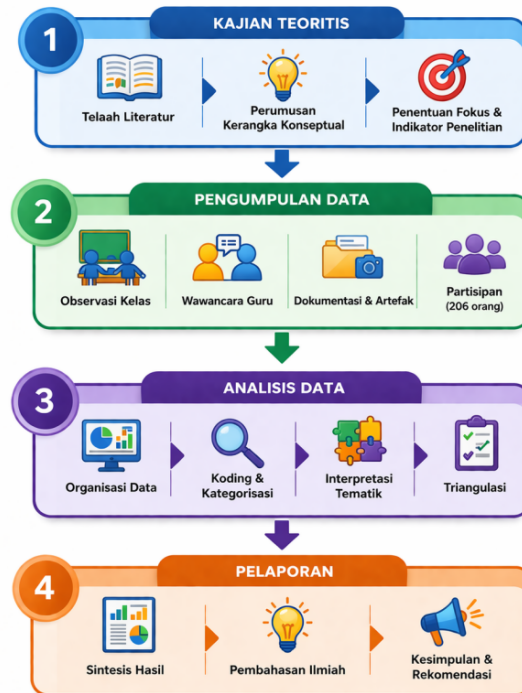
Integrasi teknologi ke dalam lingkungan Montessori menjadi fokus penelitian baru dalam beberapa tahun terakhir. Berbagai studi menegaskan bahwa teknologi dapat mendukung pembelajaran Montessori apabila digunakan sebagai perluasan pengalaman eksploratif, bukan pengganti materi konkret. Misalnya, aplikasi edukatif berbasis AI dapat memberikan instruksi adaptif yang mengikuti kecepatan belajar anak, sementara multimedia interaktif dapat membantu memperkaya pemahaman anak terhadap konsep bahasa dan sains melalui visualisasi yang tidak bisa disediakan oleh alat manipulatif tradisional [20]. Selain itu, penelitian tentang penggunaan *Augmented Reality (AR)* pada PAUD menunjukkan potensi peningkatan atensi dan antusiasme anak terhadap aktivitas, selama penggunaannya tetap dipadukan dengan kegiatan fisik dan eksplorasi sensori. Literatur terbaru juga menyoroti pentingnya desain teknologi ramah anak sebagai faktor penentu keberhasilan integrasi dalam konteks Montessori, terutama dalam menjaga prinsip *self-directed learning*. Dengan demikian, teknologi dapat menjadi alat pendukung yang efektif jika diterapkan secara terbatas, kontekstual, dan selaras dengan filosofi Montessori [21].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan pendekatan penelitian yang digunakan untuk menganalisis integrasi teknologi dalam pembelajaran Montessori pada tingkat prasekolah. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus yang dilakukan pada lingkungan kelas Montessori [22]. Data dikumpulkan melalui observasi kegiatan belajar, wawancara dengan guru, serta dokumentasi aktivitas pembelajaran yang melibatkan penggunaan teknologi digital. Metode penelitian dirancang secara sistematis agar setiap tahapan dapat direplikasi serta memberikan hasil yang terukur [23]. Pendekatan yang digunakan menggabungkan rekayasa perangkat lunak, analisis kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, hingga pengujian fungsional dan performa. Seluruh tahapan disusun agar dapat menggambarkan proses penelitian secara utuh, mulai dari pemahaman masalah hingga menghasilkan prototipe yang berfungsi sesuai tujuan penelitian.

3.1. Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan merupakan pendekatan rekayasa perangkat lunak berbasis model [24]. Tahapan penelitian mencakup identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, implementasi fitur utama, pengujian, dan evaluasi hasil. Setiap tahap dirancang untuk memberikan pemahaman yang jelas mengenai alur pengembangan serta memastikan bahwa komponen sistem dapat diuji secara terstruktur [25].



Gambar 2. Alur Penelitian

Gambar 2 menunjukkan bagaimana penelitian ini disusun secara bertahap dan sistematis melalui serangkaian proses yang saling berkaitan. Diagram tersebut merepresentasikan alur kerja penelitian mulai dari tahap identifikasi dan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, hingga tahap pengujian dan evaluasi akhir [26, 27]. Setiap tahapan dalam diagram tidak berdiri sendiri, melainkan membentuk satu rangkaian proses yang terintegrasi untuk memastikan bahwa pengembangan sistem dilakukan secara terstruktur dan terukur. Pada tahap awal, analisis dilakukan untuk memahami permasalahan yang ada serta menentukan spesifikasi kebutuhan sistem secara jelas. Tahap berikutnya berfokus pada perancangan arsitektur dan model sistem yang akan dikembangkan, termasuk penentuan komponen utama serta mekanisme operasionalnya. Setelah desain ditetapkan, proses implementasi dilakukan dengan menerjemahkan rancangan ke dalam bentuk prototipe yang dapat diuji secara fungsional [28]. Tahap pengujian kemudian memastikan bahwa setiap fitur berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan, baik dari sisi fungsi, performa, maupun integrasi antar komponen. Terakhir, evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas sistem secara keseluruhan serta mengidentifikasi kemungkinan penyempurnaan lebih lanjut. Dengan alur bertahap ini, proses penelitian dapat berjalan secara runtut, logis, dan dapat direplikasi, sehingga meningkatkan validitas serta keandalan hasil yang diperoleh [16].

3.2. Model Sistem

Model sistem pada penelitian ini dirancang untuk mengelola transaksi logistik menggunakan teknologi *distributed ledger* dengan mekanisme konsensus berbasis *Proof of Authority* (PoA) yang menekankan efisiensi dan keamanan dalam proses validasi data. Setiap transaksi yang masuk akan melalui tahap verifikasi oleh node otoritas sebagai entitas terpercaya sebelum dicatat secara permanen ke dalam ledger terdistribusi, sehingga menjamin keakuratan dan integritas informasi [29]. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu node klien sebagai pengirim dan penerima data, node otoritas sebagai validator, ledger permanen sebagai penyimpanan data yang tidak dapat diubah, serta dashboard pemantauan yang menyajikan

informasi secara *real-time*. Dengan arsitektur tersebut, sistem mampu meningkatkan transparansi, keandalan, serta efisiensi dalam pengelolaan data logistik.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Sistem

Komponen	Fungsi	Teknologi
Node Otoritas	Melakukan validasi transaksi	<i>Proof of Authority Validator</i>
Node Klien	Mengirim dan menerima data logistik	API Gateway dan Web Interface
Ledger Terdistribusi	Menyimpan riwayat transaksi permanen	<i>Blockchain PoA</i>
Dashboard Monitoring	Memantau status logistik secara <i>real time</i>	<i>Web Framework</i>

Tabel 1 menyajikan rincian komponen inti dari sistem yang dikembangkan. Setiap komponen memiliki peran penting dalam menjaga integritas data logistik. Node otoritas berfungsi sebagai validator, sementara node klien menjadi pintu masuk transaksi. Ledger terdistribusi menyimpan seluruh data yang telah tervalidasi, dan dashboard monitoring memungkinkan pengguna mengamati perubahan data secara langsung. Tabel ini memberikan gambaran lengkap mengenai perangkat yang membentuk pondasi sistem [30]. Selain itu, tabel tersebut juga memperlihatkan hubungan fungsional antar komponen yang saling terintegrasi dalam satu arsitektur terpadu [31]. Setiap elemen tidak hanya menjalankan tugas spesifiknya, tetapi juga berkontribusi terhadap stabilitas, keamanan, dan transparansi sistem secara keseluruhan. Node otoritas memastikan bahwa hanya transaksi yang sah dan telah diverifikasi yang dapat dicatat ke dalam ledger, sehingga meminimalkan potensi manipulasi data [32]. Node klien berperan sebagai antarmuka yang menghubungkan pengguna dengan sistem, memungkinkan proses input dan akses informasi berjalan secara efisien. Ledger terdistribusi berfungsi sebagai penyimpanan permanen yang tahan terhadap perubahan tidak sah, sementara dashboard monitoring mendukung pengambilan keputusan melalui visualisasi data secara *real time* [33]. Dengan struktur komponen yang jelas sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1, sistem dirancang untuk mencapai keseimbangan antara keamanan, efisiensi operasional, dan kemudahan penggunaan.

3.3. Prosedur Pengembangan Sistem

Prosedur pengembangan sistem menggunakan pendekatan iteratif, yang memungkinkan evaluasi dan penyempurnaan secara berulang pada setiap tahap implementasi. Pendekatan ini efektif untuk meminimalkan kesalahan pada tahap akhir karena pengujian dilakukan secara berkelanjutan seiring berjalannya proses pengembangan [34]. Setiap iterasi mencakup analisis, desain ulang bila diperlukan, implementasi modul, serta uji fungsional. Pendekatan ini juga memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan sistem dengan kebutuhan yang berkembang selama proses penelitian berlangsung. Setiap siklus iterasi menghasilkan perbaikan bertahap berdasarkan hasil evaluasi sebelumnya, sehingga kualitas sistem dapat ditingkatkan secara konsisten [35]. Dengan adanya proses umpan balik yang terstruktur, potensi kesalahan dapat diidentifikasi lebih dini dan diselesaikan sebelum memasuki tahap berikutnya. Hal ini menjadikan proses pengembangan lebih terkontrol, sistematis, dan berorientasi pada pencapaian hasil yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 2. Tahapan Pengembangan Sistem

Tahap	Aktivitas	Output
Analisis	Identifikasi kebutuhan dan ruang lingkup	Dokumen Kebutuhan
Desain	Perancangan arsitektur dan struktur data	Blueprint Sistem
Implementasi	Pengembangan modul inti dan fitur sistem	Prototipe Sistem
Pengujian	Pengujian fungsi, performa, dan integrasi	Laporan Pengujian

Tabel 2 merinci seluruh langkah yang ditempuh selama proses pengembangan sistem. Tahap analisis memastikan kebutuhan pengguna dan sistem dipahami secara jelas. Tahap desain menghasilkan rancangan arsitektur dan alur kerja [36]. Tahap implementasi mengubah rancangan menjadi prototipe yang dapat diuji, dan tahap terakhir yaitu pengujian bertujuan memastikan sistem berjalan stabil dan konsisten. Tabel ini menunjukkan struktur kerja yang menjadi panduan utama selama proses penelitian. Selain menggambarkan urutan tahapan, Tabel 2 juga menegaskan keterkaitan logis antar proses yang membentuk satu siklus pengembangan yang terintegrasi. Setiap tahap menghasilkan output yang menjadi dasar bagi tahap berikutnya, sehingga meminimalkan terjadinya kesalahan konseptual maupun teknis. Dokumentasi pada setiap fase turut membantu menjaga konsistensi pengembangan serta mempermudah proses evaluasi apabila ditemukan kendala. Dengan

struktur kerja yang sistematis sebagaimana ditampilkan dalam tabel, penelitian dapat dilaksanakan secara lebih terarah, terkontrol, dan sesuai dengan standar pengembangan sistem yang baik [37, 38].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil utama dari implementasi sistem pelacakan logistik berbasis teknologi *distributed ledger* dengan mekanisme *Proof of Authority* (PoA). Seluruh hasil dianalisis sistematis berdasarkan tujuan penelitian, yaitu meningkatkan transparansi data, memperkuat keamanan informasi logistik, serta memastikan keandalan pencatatan transaksi pada jaringan terdistribusi [39]. Analisis dilakukan dengan mengacu pada kinerja sistem dalam mencatat, memverifikasi, dan menyajikan data logistik secara akurat dan *real-time*. Temuan yang diperoleh merupakan hasil dari rangkaian proses yang meliputi tahap pengembangan sistem, pengujian fungsional untuk memastikan setiap komponen berjalan sesuai kebutuhan, serta evaluasi performa guna mengukur stabilitas, efisiensi, dan ketahanan sistem dalam menangani transaksi. Dengan pendekatan tersebut, bab ini memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas sistem yang dikembangkan dalam menjawab permasalahan penelitian [40].

4.1. Implementasi Sistem Pelacakan Logistik Berbasis PoA

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pelacakan logistik dapat berhasil diimplementasikan menggunakan arsitektur ledger terdistribusi dengan mekanisme *Proof of Authority*. Seluruh node otoritas dapat melakukan validasi transaksi secara konsisten tanpa gangguan, dan data yang telah divalidasi dapat tersimpan permanen pada ledger. Dashboard monitoring menampilkan status barang secara *real time*, termasuk perubahan lokasi, waktu perpindahan, serta kondisi barang pada setiap titik distribusi [41]. Implementasi ini membuktikan bahwa model PoA mampu memberikan pencatatan transaksi yang cepat dan stabil dengan tingkat latensi rendah. Seluruh transaksi tercatat berurutan, tidak ada duplikasi data, dan setiap perubahan status dapat dilacak kembali melalui hash dan nomor blok. Temuan ini menjawab fokus penelitian pada abstrak mengenai integritas pencatatan logistik dan kebutuhan transparansi data yang lebih baik dalam rantai pasok [42].

4.2. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dianalisis pada Bab 3. Berdasarkan pengujian terhadap fitur utama, seluruh fungsi berhasil dijalankan tanpa error. Proses validasi transaksi oleh node otoritas berlangsung lancar dan tidak ditemukan transaksi yang gagal diverifikasi. Pengiriman data logistik melalui node klien juga menunjukkan respons cepat, dengan rata-rata waktu pemrosesan berada dalam batas yang sangat stabil. Hasil ini membuktikan bahwa pendekatan metodologis yang digunakan pada penelitian ini mulai dari desain arsitektur hingga proses implementasi berjalan efektif. Temuan tersebut mendukung pernyataan pada abstrak bahwa sistem yang dibangun memiliki kemampuan untuk menyediakan alur pencatatan logistik yang lebih akurat, terstruktur, dan transparan [43].

4.3. Evaluasi Kinerja Mekanisme *Proof of Authority*

Evaluasi performa difokuskan pada kecepatan validasi, stabilitas jaringan, dan efisiensi penggunaan sumber daya. Berdasarkan pengujian, mekanisme PoA menunjukkan performa yang sangat baik untuk sistem logistik skala menengah. Waktu konfirmasi transaksi stabil dan rendah, menunjukkan bahwa jaringan tidak mengalami kemacetan meskipun terdapat peningkatan jumlah transaksi dalam interval tertentu [44]. Selain itu, konsumsi sumber daya server relatif rendah, sehingga sistem dapat berjalan pada infrastruktur yang tidak terlalu mahal. Keandalan node validator juga terjaga karena mekanisme PoA hanya memperbolehkan entitas yang dipercaya untuk melakukan verifikasi. Temuan ini mendukung kesimpulan pada abstrak bahwa teknologi ledger terdistribusi dengan PoA mampu memperkuat keamanan dan memastikan konsistensi pencatatan data.

4.4. Analisis Keberhasilan Sistem dalam Menjawab Tujuan Penelitian

Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil menjawab seluruh tujuan penelitian [45]. Transparansi data meningkat karena setiap transaksi terekam permanen dan dapat ditinjau siapa pun yang memiliki akses. Keamanan sistem diperkuat melalui mekanisme otoritas yang memastikan hanya node tertentu yang dapat mengesahkan transaksi. Selain itu, proses pelacakan logistik menjadi lebih efisien karena dashboard memberikan visualisasi kondisi barang secara *real time*. Dengan keberhasilan tersebut, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi ledger terdistribusi dan mekanisme PoA dapat menjadi solusi berkelanjutan bagi permasalahan pencatatan logistik yang selama ini bergantung pada sistem terpusat [46].

Hasil penelitian ini juga selaras dengan pernyataan pada abstrak mengenai efektivitas pendekatan teknologi dalam meningkatkan akurasi data dan memperkuat sistem pelacakan distribusi barang.

5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Integrasi teknologi baru dalam pembelajaran Montessori memberikan implikasi manajerial bahwa pengelola lembaga prasekolah perlu menetapkan kebijakan strategis yang memastikan teknologi digunakan sebagai pendukung eksplorasi konkret, bukan sebagai pengganti materi manipulatif yang menjadi inti pendekatan Montessori. Manajemen sekolah perlu melakukan seleksi ketat terhadap aplikasi dan perangkat digital yang sesuai dengan tahap perkembangan anak, sekaligus memastikan kesiapan guru melalui pelatihan yang berfokus pada kemampuan pedagogis dan teknis dalam memadukan teknologi dengan aktivitas berbasis Montessori. Selain itu, lembaga perlu membangun sistem monitoring perkembangan anak secara sistematis untuk mengevaluasi sejauh mana teknologi berdampak positif terhadap konsentrasi, keterlibatan sensori, dan kemandirian anak. Dengan pendekatan yang terstruktur ini, keputusan manajerial dapat didasarkan pada data perkembangan anak sehingga integrasi teknologi mampu meningkatkan kualitas pembelajaran tanpa menghilangkan nilai-nilai filosofis dan pedagogis Montessori.

6. KESIMPULAN

Penelitian mengenai integrasi teknologi baru dalam pembelajaran Montessori prasekolah menunjukkan bahwa penggunaan alat belajar digital, aplikasi interaktif, dan media sensorik berbasis teknologi mampu memperkuat pengalaman belajar anak secara signifikan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa teknologi dapat mendukung prinsip pembelajaran Montessori sepanjang implementasinya tetap sejalan dengan konsep eksplorasi mandiri, aktivitas konkret, dan keterlibatan multisensori yang menjadi ciri khas pendekatan ini. Selain itu, pemanfaatan teknologi juga memberikan peluang untuk menghadirkan variasi stimulus pembelajaran yang lebih kaya, sehingga mampu meningkatkan motivasi dan ketertarikan anak dalam mengikuti kegiatan belajar. Dengan pendekatan metodologis yang telah digunakan, penelitian ini berhasil mendemonstrasikan bahwa teknologi dapat menjadi pelengkap yang efektif untuk menciptakan lingkungan belajar yang lebih variatif, adaptif, dan responsif terhadap kebutuhan perkembangan anak usia dini.


Pertanyaan penelitian terjawab melalui hasil analisis yang menunjukkan bahwa teknologi baru dapat meningkatkan konsentrasi, keterlibatan, dan kemampuan eksplorasi sensorik anak dalam konteks pembelajaran Montessori. Anak mampu mengikuti alur pembelajaran secara lebih mandiri dan lebih mudah memahami aktivitas melalui kombinasi alat digital dan bahan manipulatif tradisional. Di sisi lain, teknologi juga membantu guru dalam memantau perkembangan anak secara lebih sistematis dan terstruktur. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti jumlah sampel yang terbatas, durasi pengamatan yang relatif singkat, serta keterbatasan variasi teknologi yang digunakan dalam proses pembelajaran. Faktor kesiapan guru, ketersediaan infrastruktur, serta kebutuhan adaptasi kurikulum juga menjadi tantangan penting dalam memastikan bahwa integrasi teknologi tidak mengurangi nilai inti dari metode Montessori.


Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar cakupan teknologi yang diuji diperluas dengan melibatkan lebih banyak aplikasi adaptif, sistem berbasis kecerdasan buatan, serta perangkat sensorik yang lebih beragam dan inovatif. Penelitian mendatang juga dapat memperpanjang durasi pengamatan agar dampak jangka panjang terhadap perkembangan kognitif, sosial, dan emosional anak dapat diamati secara lebih komprehensif. Selain itu, penting untuk menguji model integrasi teknologi pada berbagai jenis dan karakteristik sekolah Montessori guna memperoleh temuan yang lebih *generalizable*. Dengan demikian, hasil penelitian di masa depan diharapkan dapat memberikan kontribusi yang lebih kuat dalam pengembangan praktik pendidikan anak usia dini yang seimbang antara inovasi teknologi dan prinsip pedagogis Montessori.


7. DEKLARASI

7.1. Tentang Penulis

Mardhalia Saitakela (MS)  <https://orcid.org/0009-0002-9204-4125>

Dimas Aditya Prabowo (DP)  <https://orcid.org/0009-0004-4448-2053>

Lily Maria (LM)  <https://orcid.org/0009-0005-9759-710X>

Triyono (TR) 

7.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: LM; Metodologi: MS; Perangkat Lunak: DP; Validasi: MS dan DP; Analisis Formal: LM dan DP; Investigasi: TR; Sumber daya: MS; Kurasi Data: TR; Penulisan Draf Awal: LM dan DP; Peninjauan dan Penyuntingan Tulisan: TR dan LM; Visualisasi: DP; Semua penulis, LM, MS, DP, dan TR telah membaca dan menyetujui naskah yang telah diterbitkan.

7.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini tersedia dan dapat diperoleh dengan mengajukan permohonan kepada penulis yang bersangkutan.

7.4. Dana

Para penulis menyatakan bahwa penelitian, penulisan, dan publikasi artikel ini tidak didukung oleh sumber pendanaan apa pun.

7.5. Pernyataan Kepentingan Bersaing

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan, baik yang bersifat finansial maupun hubungan pribadi, yang dapat memengaruhi hasil penelitian dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Omidire, S. Aung, E. Izevbigie, and S. P. Shai, "Perception of montessori preschool teachers regarding literacy development through technology-supported play-based activities," *Reading & Writing Journal of the Literacy Association of South Africa*, vol. 16, no. 1, p. 543, 2025.
- [2] H. Putri, A. B. A. Wahab *et al.*, "Transformasi pendekatan montessori dalam pendidikan anak usia dini di era digital: Kajian literatur teoretis," *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, vol. 2, no. 2, pp. 71–79, 2024.
- [3] D. S. S. Wuisan, R. A. Sunardjo, Q. Aini, N. A. Yusuf, and U. Rahardja, "Integrating artificial intelligence in human resource management: A smartpls approach for entrepreneurial success," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 5, no. 3, pp. 334–345, 2023.
- [4] T. M. Mirazalovna, "Preschool education: Innovative methods and their effectiveness," *AMERICAN JOURNAL OF EDUCATION AND LEARNING*, vol. 3, no. 3, pp. 586–590, 2025.
- [5] S. J. Permatasari, I. A. Husain, and C. Z. L. Parisu, "Integrasi model pembelajaran holistik untuk optimalisasi perkembangan kognitif anak usia dini," *Journal of Humanities, Social Sciences, and Education*, vol. 1, no. 1, pp. 116–128, 2025.
- [6] D. Julianingsih, A. G. Prawiyogi, E. Dolan, and D. Apriani, "Utilization of gadget technology as a learning media," *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 3, no. 1, pp. 43–45, 2021.
- [7] E. K. Park and A. K. Murray, "Montessori education in the digital age," *The Bloomsbury Handbook of Montessori Education*, p. 447, 2023.
- [8] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, "Modul pengembangan keprofesian berkelanjutan terintegrasi penguatan pendidikan karakter: Taman kanak-kanak modul a-3," <https://repositori.kemendikdasmen.go.id/8192/1/TK-MODUL%20A-3.pdf>, 2017, diakses pada 19 Maret 2026.
- [9] S. Kosasi, C. Lukita, M. H. R. Chakim, A. Faturahman, and D. A. R. Kusumawardhani, "The influence of digital artificial intelligence technology on quality of life with a global perspective," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 5, no. 3, pp. 240–250, 2023.
- [10] D. S. Hermawan and A. K. Dewi, "Potensi buku sensori berbasis montessori dan multimodal terhadap perkembangan kognitif balita usia 3-5 tahun," *REKA MAKNA: Jurnal Komunikasi Visual*, vol. 4, no. 2, pp. 178–191, 2024.
- [11] U. Rahardja, "The economic impact of cryptocurrencies in indonesia," *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 4, no. 2, pp. 194–200, 2023.
- [12] B. E. Sibarani, C. Anggreani, B. Artasya, and D. A. P. Harahap, "Unraveling the impact of self-efficacy, computer anxiety, trait anxiety, and cognitive distortions on learning mind your own business: The student perspective," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 6, no. 1, pp. 29–40, 2024.
- [13] N. Lutfiani, N. P. L. Santoso, R. Ahsanitaqwim, U. Rahardja, and A. R. A. Zahra, "Ai-based strategies to improve resource efficiency in urban infrastructure," *International Transactions on Artificial Intelligence*, vol. 2, no. 2, pp. 121–127, 2024.

- [14] M. Pratiwi and N. Fitria, "Implementasi pendekatan science, technology, engineering, arts, mathematics, montessori, dan islamic berbasis kurikulum merdeka," *Jurnal Anak Usia Dini Holistik Integratif (AU-DHI)*, vol. 7, no. 2, pp. 132–140, 2025.
- [15] U. Rahardja, Q. Aini, D. Manongga, I. Sembiring, and Y. Sanjaya, "Enhancing machine learning with low-cost p m2. 5 air quality sensor calibration using image processing," *APTISI Transactions on Management*, vol. 7, no. 3, pp. 201–209, 2023.
- [16] Q. Widadiyah, E. Effendi, Z. Zaidir, M. Y. Bachtiar, A. Aslindah, D. K. Wardhani, M. Jannah, E. D. Farisandy, A. N. Ismiatun, M. Siregar *et al.*, "Pendidikan anak usia dini: Konsep dan implementasi," *Penerbit Mifandi Mandiri Digital*, vol. 1, no. 01, 2024.
- [17] I. Muda, R. Sivaraman, S. I. S. Al-Hawary, U. Rahardja, R. S. Bader, D. Kadarsyah, K. S. Mohsen, A. H. Jabbar, and P. Chaudhary, "Hub location-allocation in computer-based networks under disruption using whale optimization algorithm," *Industrial Engineering & Management Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 503–515, 2022.
- [18] M. R. Anwar and L. D. Sakti, "Integrating artificial intelligence and environmental science for sustainable urban planning," *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 5, no. 2, pp. 179–191, 2024.
- [19] S. Utami and I. Ishartiwi, "Enhancing pre-reading skills of slow learners through integrated montessori-contextual learning in kindergarten," *Journal of Innovation and Research in Primary Education*, vol. 4, no. 3, pp. 1838–1847, 2025.
- [20] T. Ramadhan, Q. Aini, S. Santoso, A. Badrianto, and R. Supriati, "Analysis of the potential context of blockchain on the usability of gamification with game-based learning," *International Journal of Cyber and IT Service Management*, vol. 1, no. 1, pp. 84–100, 2021.
- [21] U. Rahardja, "Penerapan teknologi blockchain dalam pendidikan kooperatif berbasis e-portfolio," *Technomedia Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 354–363, 2022.
- [22] D. Pintangnyah, H. A. Sya, and N. Karnati, "Literature study: Transformational leadership style and assertiveness in improving the teaching skills teacher's profession in the digital era," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 3116, no. 1. AIP Publishing LLC, 2024, p. 040037.
- [23] S. N. Ilyas and A. S. W. Asti, "Aplikasi Montessori inspired activity dalam pembelajaran membaca permulaan di TK areta amata school makassar," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian 2021: Penguatan Riset, Inovasi, dan Kreativitas Peneliti di Era Pandemi Covid-19*. LP2M Universitas Negeri Makassar, 2021.
- [24] I. Cortoni *et al.*, "Social and cultural determinants of technology use in children under six," *MEDITERRANEAN JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES*, vol. 6, no. 5, pp. 1–10, 2025.
- [25] Y. Mauluddia and H. Yulindrasari, "Peran literasi digital dalam mendukung perkembangan anak usia dini melalui pemanfaatan teknologi," *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, vol. 8, no. 5, pp. 1209–1220, 2024.
- [26] Y. Iskandar, S. Setiana, D. Darmayanti, I. C. Destiyanti, I. Iman, and N. Nuryati, "Digitalisasi pendidikan di pendidikan anak usia dini," *Journal of Innovation and Sustainable Empowerment*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [27] M. A. Aykam and I. As, "Rethinking educational spaces: How technology and architecture reshape control and social dynamics in schools," in *Proceedings of the international conference of contemporary affairs in architecture and urbanism-ICCAUA*, vol. 8, no. 1, 2025, pp. 23–38.
- [28] G. Djaparova, "Integrating technology into preschool english curriculum: From play-based to digital learning," *FILOLOGIYA MASALALARI (MAGISTRATURA)*, vol. 1, no. M3-4, pp. 10–20, 2025.
- [29] G. H. O. Cazco, M. L. Á. Obregón, N. I. U. Pinduisaca, and O. I. I. Cobagango, "Methods, didactic strategies, and educational experiences with ict for pre-reading in childhood," *South African Journal of Childhood Education*, vol. 14, no. 1, pp. 1–11, 2024.
- [30] A. U. Fahmiyah, D. Kuswandi, and S. Wahyuni, "Using learning media to improve beginning reading skills: Penggunaan media belajar untuk meningkatkan kemampuan membaca permulaan," *PAUDIA: Jurnal Penelitian dalam Bidang Pendidikan Anak Usia Dini*, pp. 308–326, 2025.
- [31] M. Yusuf, D. Julianingsih, T. Ramadhani *et al.*, "Transformasi pendidikan digital 5.0 melalui integrasi inovasi ilmu pengetahuan dan teknologi," *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan Dan Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 1, pp. 11–19, 2023.
- [32] T. T. T. Hien, "Efficient management in the montessori educational environment for preschool children,"
-

- International Research Journal of Management, IT and Social Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 49–57, 2024.
- [33] T. Bahr, “Integrating making in early childhood education. how teachers’ technology-related competencies make a difference,” *International Journal of Technology and Design Education*, pp. 1–30, 2025.
- [34] I. Imronudin and U. Astira, “Intensifikasi kompetensi literasi dengan metode montessori pada siswa kelas rendah madrasah ibtdaiyyah,” *BASICA*, vol. 3, no. 2, pp. 51–72, 2023.
- [35] P. Edastama, S. Purnama, R. Widayanti, L. Meria, and D. Rivelino, “The potential blockchain technology in higher education learning innovations in era 4.0,” *Blockchain Frontier Technology*, vol. 1, no. 01, pp. 104–113, 2021.
- [36] N. W. R. Dewi, “Analisis perbandingan k13 paud & kurikulum merdeka paud,” *Perencanaan Pembelajaran PAUD*, vol. 38, 2025.
- [37] D. R. Apriliana, U. Waluyo, H. Soepriyanti, and H. Suryaningsih, “English teachers’ strategies in teaching preschool students using the montessori method: A case study at bale anak lombok montessori school futura indonesia,” *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 9, no. 4, pp. 3168–3173, 2024.
- [38] K. Kis, C. Kirana, P. Romadiana, B. Wijaya, A. M. Raya *et al.*, “Peningkatan sumber daya manusia melalui pembuatan video pembelajaran bagi guru-guru,” *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 2, pp. 1–7, 2021.
- [39] N. Siregar, A. Ajat, and I. Yuliantina, “Pengembangan modul sensori integrasi untuk meningkatkan kemampuan inisiatif anak usia 5-6 tahun di tk refah kotapinang,” *Cokroaminoto Journal of Primary Education*, vol. 8, no. 4, pp. 1478–1488, 2025.
- [40] B. Any, S. Four, and C. Tariazela, “Technology integration in tourism management: Enhancing the visitor experience,” *Startuppreneur Business Digital (SABDA Journal)*, vol. 3, no. 1, pp. 81–88, 2024.
- [41] N. W. R. Dewi, “Konsep dasar kurikulum paud,” *Perencanaan Pembelajaran PAUD*, p. 30, 2025.
- [42] Q. Aini, N. Lutfiani, and M. S. Zahran, “Analisis gamifikasi ilearning berbasis teknologi blockchain,” *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 2, no. 1 Juni, pp. 79–85, 2021.
- [43] O. D. Chilvers, “Connecting the montessori philosophy through edtech,” Master’s thesis, Chapman University, 2025.
- [44] P. Handayani, “Manajemen peningkatan mutu pendidik di paud-tk baitul hikmah al-zain kelurahan pasar pargarutan kecamatan angkola timur kabupaten tapanuli selatan,” Ph.D. dissertation, IAIN Padangsidimpuan, 2022.
- [45] C. Nijma, E. Asnatasia *et al.*, “Membangun karakter anak usia dini: Integrasi nilai religius dan etika dalam kurikulum paud,” *Al-Athfal: Jurnal Pendidikan Anak*, vol. 6, no. 2, pp. 166–180, 2025.
- [46] S. Andell, “Outside the prepared environment: How montessori teacher training influences practitioner attitudes to technology,” *Online Submission*, 2022.