

Analisis Simulasi Wireless Sensor Network Berbasis Game Interaktif Sebagai Media Pembelajaran

Nabila Ambarwati ^{1)*} , Moh.Rafael Kamil Ardiansyah ²⁾ , Raditya Dwi Akmal Purnomo ³⁾ 

^{1) 2) 3)} Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ nbelaofgod@gmail.com, ²⁾ raphardiansyah@gmail.com, ³⁾ radhityadwi65@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi jaringan mendorong meningkatnya kebutuhan akan pemahaman konsep Wireless Sensor Network (WSN) yang menjadi komponen penting dalam berbagai sistem modern, termasuk Internet of Things (IoT). Namun, kompleksitas konsep WSN sering menjadi kendala dalam proses pembelajaran konvensional yang bersifat teoritis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengembangkan simulasi Wireless Sensor Network berbasis game interaktif sebagai media pembelajaran yang mampu meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta didik. Pendekatan Game-Based Learning digunakan untuk menghadirkan proses pembelajaran yang lebih menarik dan aplikatif melalui visualisasi dan interaksi langsung dengan sistem simulasi. Metode penelitian yang digunakan adalah System Development Life Cycle (SDLC), yang meliputi tahap analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan bahwa simulasi WSN berbasis game interaktif mampu membantu peserta didik memahami konsep dasar WSN, karakteristik jaringan, serta tantangan komunikasi dan keamanan secara lebih efektif, sekaligus mendukung proses pembelajaran teknologi jaringan yang relevan dengan perkembangan IoT.

Kata Kunci: wireless sensor network, game-based learning, simulasi jaringan, media pembelajaran, internet of things

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komputer dan jaringan yang berlangsung sangat cepat telah mendorong pemanfaatan sistem jaringan di berbagai sektor, mulai dari pendidikan, industri, hingga lingkungan. Salah satu teknologi jaringan yang mengalami perkembangan signifikan adalah Wireless Sensor Network (WSN) atau Jaringan Sensor Nirkabel. WSN merupakan sistem jaringan nirkabel yang tersusun atas sejumlah sensor node yang saling terhubung dan berfungsi untuk melakukan pengumpulan, pengolahan, serta pengiriman data dari suatu lingkungan pengamatan secara terdistribusi [1], [2].

Wireless Sensor Network banyak dimanfaatkan dalam pemantauan kondisi fisik dan lingkungan, seperti suhu, kelembaban, tekanan, suara, maupun pergerakan pada area tertentu. Setiap sensor node dalam WSN memiliki keterbatasan sumber daya, baik dari sisi energi, kemampuan komputasi, maupun kapasitas memori. Kondisi ini menjadikan aspek pengelolaan energi serta pemahaman karakteristik jaringan sebagai faktor penting dalam proses perancangan dan pengoperasian sistem WSN [1], [3].

Dalam ranah pendidikan, pemahaman konsep Wireless Sensor Network sering dianggap kompleks karena melibatkan berbagai komponen teknis, seperti topologi jaringan, protokol komunikasi, manajemen energi, dan pemrosesan data secara terdistribusi. Metode pembelajaran konvensional yang cenderung bersifat teoritis dinilai kurang efektif dalam membantu peserta didik memahami mekanisme kerja WSN secara komprehensif. Oleh sebab itu, dibutuhkan pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan aplikatif, salah satunya melalui pemanfaatan simulasi sebagai media pembelajaran. Simulasi WSN memungkinkan visualisasi proses komunikasi antar node, aliran data, serta perilaku jaringan pada berbagai kondisi tertentu. Pengembangan simulasi berbasis game interaktif sebagai media pembelajaran diharapkan mampu meningkatkan minat belajar, pemahaman konseptual, serta keterlibatan aktif peserta didik. Pendekatan game-based learning memungkinkan peserta didik berinteraksi langsung dengan sistem simulasi, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih menarik dan mudah dipahami [4].

* Nabila Ambarwati

Selain itu, simulasi WSN berbasis game interaktif juga relevan dengan perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), di mana WSN berperan sebagai komponen utama dalam proses pengumpulan data dari berbagai perangkat cerdas. IoT memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung dan bertukar data secara otomatis melalui jaringan internet, sehingga mendukung sistem monitoring dan pengendalian yang efisien [5]. Penerapan konsep IoT yang didukung oleh WSN telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang, seperti smart home, smart city, dan sistem pemantauan lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman konsep WSN melalui media pembelajaran interaktif diharapkan dapat menjadi fondasi yang kuat bagi peserta didik dalam mempelajari serta mengembangkan sistem IoT yang semakin luas diterapkan dalam kehidupan sehari-hari maupun dunia industri [6], [7].

Di sisi lain, perkembangan teknologi digital juga memberikan dampak signifikan terhadap kehidupan anak-anak usia dini. Penggunaan perangkat digital seperti smartphone, tablet, dan permainan berbasis gim semakin meluas, bahkan pada anak usia sangat muda. Fenomena ini menimbulkan kekhawatiran terhadap dampak jangka panjang terhadap proses tumbuh kembang anak, terutama apabila penggunaan teknologi tersebut tidak disertai dengan pemahaman serta pengawasan yang memadai dari orang tua [8], [9], [10].

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teknologi interaktif, seperti robot pintar dan mainan cerdas, memiliki potensi positif dalam mendukung perkembangan kognitif, motorik, dan sosial anak. Penelitian yang dipublikasikan dalam *Applied Sciences* (2021) menyebutkan bahwa smart toys mampu memberikan pengalaman belajar yang interaktif dan menyenangkan. Sementara itu, studi pada *Frontiers in Robotics and AI* (2021) menunjukkan bahwa penggunaan robot sosial dapat meningkatkan aktivitas fisik, perilaku bermain sosial, serta interaksi anak dalam lingkungan bermain bebas [11], [12], [13].

Meskipun demikian, penerapan IoT, khususnya di wilayah perkotaan, masih menghadapi berbagai tantangan teknis dan struktural [14]. Keterbatasan infrastruktur jaringan yang mampu mendukung komunikasi berskala besar dengan latensi rendah, tingkat kehilangan paket yang minimal, serta efisiensi energi yang tinggi menjadi kendala utama [15], [16]. Selain itu, kondisi lingkungan perkotaan yang dinamis, seperti interferensi sinyal akibat kepadatan bangunan dan tingginya mobilitas pengguna, turut memengaruhi stabilitas konektivitas jaringan [17], [18]. Oleh karena itu, pemilihan arsitektur jaringan komunikasi nirkabel yang efisien menjadi aspek krusial dalam mendukung keberhasilan implementasi IoT dan Wireless Sensor Network di lingkungan perkotaan [19], [20].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Game-Based Learning (GBL) merupakan pendekatan pembelajaran yang memadukan elemen permainan untuk menciptakan proses belajar yang aktif, interaktif, dan menyenangkan. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan motivasi serta hasil belajar peserta didik, khususnya pada materi teknis yang membutuhkan visualisasi konsep abstrak. Penerapan GBL dalam pembelajaran dapat memperpanjang durasi keterlibatan siswa terhadap materi sekaligus memperdalam pemahaman konsep yang disampaikan [21]. Selain itu, penggunaan media pembelajaran interaktif dinilai efektif dalam mendorong partisipasi aktif siswa, terutama apabila didukung oleh bimbingan dan instruksi yang terstruktur [22]. Oleh karena itu, GBL relevan digunakan sebagai media simulasi untuk membantu pemahaman konsep jaringan dan sistem yang kompleks, termasuk Wireless Sensor Network (WSN).

Dalam konteks pembelajaran jaringan, aspek keamanan jaringan menjadi komponen penting yang perlu dipahami sejak dini, khususnya pada ekosistem Internet of Things (IoT) dan jaringan 5G yang rentan terhadap berbagai serangan siber. Pendekatan mitigasi melalui mekanisme enkripsi dan autentikasi diperlukan untuk menjaga keandalan komunikasi [23]. Keandalan protokol komunikasi IoT memungkinkan proses pemantauan berjalan secara real-time, sekaligus menegaskan pentingnya stabilitas dan keamanan pada sistem terdistribusi [24]. Karakteristik teknologi 5G yang mampu beroperasi pada berbagai rentang bandwidth serta mendukung konektivitas perangkat dalam jumlah besar menjadikannya relevan untuk dijadikan skenario simulasi pembelajaran jaringan modern [25].

Pemahaman mengenai arsitektur Wireless Sensor Network (WSN) merupakan materi fundamental dalam pembelajaran sistem jaringan. Pada sistem pertanian cerdas, WSN umumnya terdiri atas node sensor sebagai pengumpul data lingkungan, gateway sebagai penghubung jaringan, serta server aplikasi untuk pemrosesan dan analisis data. Node sensor dilengkapi berbagai sensor untuk mengukur parameter lingkungan seperti kelembaban, temperatur, intensitas cahaya, hingga kandungan nutrisi dan pH tanah yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Arsitektur hierarkis dengan konfigurasi master-slave terbukti mampu mengoptimalkan proses pengumpulan, agregasi, dan transmisi data dengan membagi peran antara node berkapabilitas rendah dan node dengan kemampuan komputasi lebih tinggi [27]. Konsep arsitektur ini dapat direpresentasikan dalam bentuk simulasi interaktif untuk memudahkan pemahaman alur kerja WSN.

Pemilihan teknologi komunikasi nirkabel juga menjadi aspek penting dalam perancangan dan pembelajaran WSN, terutama untuk menggambarkan perbedaan karakteristik jaringan pada berbagai skenario. Studi komparatif terhadap WiFi IEEE 802.11g, ZigBee IEEE 802.15.4, dan LoRaWAN menunjukkan bahwa LoRaWAN memiliki keunggulan dalam efisiensi energi dan masa hidup jaringan ketika diterapkan pada area luas [28]. Temuan ini dapat dimanfaatkan sebagai materi simulasi dalam game edukatif untuk menunjukkan perbedaan performa dan penggunaan energi antar teknologi komunikasi.

Perkembangan teknologi cerdas turut mendorong pemanfaatan pendekatan machine learning (ML) dan trust management dalam sistem WSN. Algoritma ML berperan sebagai mekanisme adaptif untuk monitoring dan pengambilan keputusan secara otonom, meskipun masih memiliki keterbatasan pada data pelatihan dan sumber daya

perangkat [29]. Sementara itu, trust management difokuskan pada deteksi ancaman internal dari node yang terkompromi, yang tidak dapat sepenuhnya diatasi oleh kriptografi dan autentikasi konvensional. Konsep-konsep ini relevan untuk disimulasikan sebagai bagian dari pembelajaran keamanan jaringan berbasis game.

Strategi keamanan jaringan yang menggabungkan firewall, enkripsi AES/RSA, Intrusion Detection System (IDS), serta Disaster Recovery Plan (DRP) dinilai mampu memperkuat pertahanan sistem berskala besar [30]. Dalam konteks Industri 4.0, setiap domain aplikasi WSN memiliki kebutuhan keamanan yang berbeda-beda [31]. Integrasi WSN dengan IoT juga menghadirkan tantangan baru, khususnya pada protokol ZigBee yang banyak digunakan pada sistem berdaya rendah. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan pemahaman terkait strategi mitigasi ancaman keamanan dan privasi WSN secara menyeluruh. Oleh karena itu, penyajian materi keamanan dalam bentuk simulasi interaktif menjadi alternatif untuk membantu pemahaman lanskap ancaman dan solusi yang ada [33],[34].

Penelitian lain menekankan pentingnya keamanan pada protokol routing WSN. Analisis terhadap Directed Diffusion menunjukkan bahwa enkripsi pada lapisan tautan mampu menekan serangan eksternal, namun node yang terkompromi tetap menjadi ancaman utama dengan risiko seperti DoS, selective forwarding, dan manipulasi rute [30]. Taksonomi serangan aktif dan pasif terhadap node sensor juga telah dikembangkan sebagai dasar klasifikasi ancaman [35]. Pada implementasi praktis, kombinasi teknik keamanan seperti firewall filtering dan port knocking terbukti efektif dalam mencegah akses tidak sah [37]. Aspek autentikasi dan manajemen kunci turut menjadi fokus, di mana protokol berbasis Elliptic Curve Diffie-Hellman (ECDH) serta pengembangan Diffie-Hellman dengan fungsi hashing mampu meningkatkan efisiensi autentikasi tanpa mengurangi ketahanan terhadap serangan man-in-the-middle [46].

Penelitian ini menggunakan metode System Development Life Cycle (SDLC) sebagai pendekatan dalam pengembangan simulasi WSN berbasis game interaktif. SDLC meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan, sehingga pengembangan media pembelajaran dapat dilakukan secara terstruktur dan sistematis. Pendekatan ini bertujuan untuk menghasilkan sistem simulasi yang sesuai kebutuhan pembelajaran, memiliki kinerja yang optimal, serta mampu merepresentasikan aspek teknis dan keamanan WSN secara interaktif [42]. Berbagai penelitian pendukung terkait integrasi WSN dengan IoT dan blockchain [32],[38],[39],[40], penerapan machine learning untuk deteksi intrusi dan serangan DDoS [41],[43], manajemen kepercayaan [44], Fuzzy AHP untuk prioritas keamanan [45], serta kriptografi hemat energi [46],[47], termasuk studi dalam negeri mengenai firewall, VPN, dan DNSSEC [48],[49],[50], menjadi dasar penguatan konsep yang disimulasikan dalam sistem pembelajaran ini.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode System Development Life Cycle (SDLC) sebagai pendekatan dalam pengembangan simulasi Wireless Sensor Network (WSN) berbasis game interaktif yang ditujukan sebagai media pembelajaran. Pemilihan metode SDLC didasarkan pada kemampuannya dalam menyediakan tahapan pengembangan sistem yang terstruktur, sistematis, dan berurutan, sehingga sesuai untuk pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi yang membutuhkan perencanaan dan evaluasi yang jelas [42].

A. Desain Penelitian

Desain penelitian ini mengikuti model System Development Life Cycle (SDLC) dengan lima tahap utama seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tahapan Penelitian Berdasarkan Model SDLC

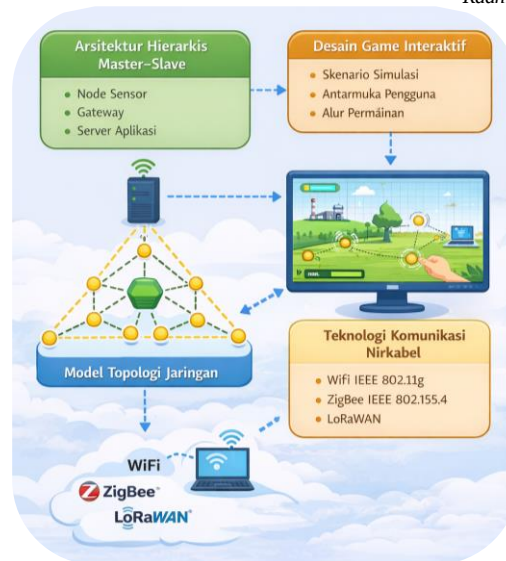
Metode SDLC terdiri atas lima tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan simulasi dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan aspek teknis WSN, keamanan jaringan, serta prinsip Game-Based Learning (GBL) agar sistem yang dihasilkan efektif sebagai media pembelajaran.

B. Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik pengguna, serta materi WSN yang akan disimulasikan. Pada tahap ini ditentukan konsep game-based learning yang digunakan agar simulasi mampu meningkatkan keterlibatan dan pemahaman pengguna terhadap konsep WSN, khususnya topologi jaringan, komunikasi antar node, dan aliran data [21], [22]. Selain itu, analisis juga mencakup penentuan skenario simulasi jaringan, jenis node sensor, serta teknologi komunikasi yang akan direpresentasikan dalam game.

C. Perancangan Sistem

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik pengguna, serta materi WSN yang akan disimulasikan. Pada tahap ini ditentukan konsep game-based learning yang digunakan agar simulasi mampu meningkatkan keterlibatan dan pemahaman pengguna terhadap konsep WSN, khususnya topologi jaringan, komunikasi antar node, dan aliran data [21], [22]. Selain itu, analisis juga mencakup penentuan skenario simulasi jaringan, jenis node sensor, serta teknologi komunikasi yang akan direpresentasikan dalam game.



Gambar 2. Perancangan Simulasi WSN berbasis game interaktif

D. Implementasi

Tahap implementasi merupakan proses realisasi desain ke dalam bentuk simulasi game interaktif. Pada tahap ini, seluruh komponen sistem yang telah dirancang diimplementasikan menjadi lingkungan simulasi yang dapat dijalankan oleh pengguna. Implementasi difokuskan pada visualisasi proses komunikasi antar node, aliran data, serta respons jaringan terhadap berbagai kondisi, sehingga peserta didik dapat memahami konsep WSN secara intuitif melalui interaksi langsung.

E. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem simulasi berjalan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian mencakup pengujian fungsionalitas simulasi, kesesuaian alur permainan dengan konsep WSN, serta kemudahan penggunaan sebagai media pembelajaran. Tahap ini penting untuk memastikan bahwa simulasi mampu menyampaikan materi jaringan secara akurat dan efektif. Hasil Hasil Pengujian Fungsional Sistem dalam Tabel 1 berikut.

No	Skenario Pengujian	Input	Output	Hasil
1	Penempatan node sensor	Jumlah node = 10	Sesuai	Berhasil
2	Simulasi pengiriman data	Klik start simulasi	Sesuai	Berhasil
3	Pemilihan teknologi	LoRaWAN	Sesuai	Berhasil

F. Pemeliharaan

Tahap pemeliharaan dilakukan untuk memastikan sistem simulasi tetap dapat digunakan dengan baik serta memungkinkan pengembangan lanjutan. Pada tahap ini dilakukan perbaikan kesalahan (bug fixing), peningkatan fitur, serta penyesuaian materi simulasi sesuai dengan kebutuhan pembelajaran WSN yang berkembang. Pemeliharaan bertujuan agar simulasi tetap relevan sebagai media pembelajaran berbasis game yang efektif dan adaptif [42].

IV. HASIL

A. Hasil Pengembangan Sistem

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah simulasi Wireless Sensor Network (WSN) berbasis game interaktif yang dirancang sebagai media pembelajaran. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan proses komunikasi antar node sensor, aliran data, serta pengaruh konfigurasi jaringan terhadap kinerja sistem WSN. Simulasi dikemas dalam bentuk permainan interaktif sehingga pengguna dapat berinteraksi langsung dengan objek jaringan, seperti node sensor, gateway, dan jalur komunikasi.

Fitur utama yang dihasilkan meliputi pengaturan jumlah node sensor, pemilihan topologi jaringan, visualisasi transmisi data, serta mekanisme umpan balik pembelajaran berupa skor dan indikator keberhasilan simulasi. Pendekatan game-based learning diterapkan untuk meningkatkan keterlibatan pengguna selama proses pembelajaran.

B. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode black box testing untuk memastikan setiap fungsi berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan pada tahap analisis. Pengujian difokuskan pada fungsionalitas utama sistem simulasi, interaksi pengguna, serta stabilitas sistem selama simulasi berlangsung.

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh fitur utama sistem dapat berjalan dengan baik. Sistem mampu menampilkan simulasi jaringan secara real-time, merespons interaksi pengguna, serta menyajikan visualisasi aliran data antar node dengan jelas. Tidak ditemukan kesalahan fungsional yang signifikan selama proses pengujian. Hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2 berikut.

No	Skenario Pengujian	Input	Output	Hasil
1	Simulasi node sensor aktif	Start simulasi	Node Mengirim Data	Berhasil
2	Interaksi pemain	Klik node	Informasi node tampil	Berhasil
3	Pengaturan topologi	Ubah Jumlah Node	Topologi berubah	Berhasil
4	Visualisasi aliran data	Jalankan simulasi	Alur data terlihat	Berhasil
5	Sistem game-based learning	Main level simulasi	Skor & feedback muncul	Berhasil

C. Analisis

Analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan simulasi WSN berbasis game interaktif memberikan dampak positif terhadap pemahaman konsep jaringan sensor nirkabel. Interaksi langsung yang ditawarkan oleh sistem memungkinkan pengguna untuk tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga bereksperimen dengan berbagai skenario jaringan. Hal ini sejalan dengan prinsip Game-Based Learning (GBL) yang menekankan keterlibatan aktif dalam proses pembelajaran.

Dari sisi teknis, simulasi berhasil merepresentasikan karakteristik utama WSN, seperti keterbatasan energi node dan proses pengiriman data secara multihop. Visualisasi konsumsi energi memperlihatkan bahwa aktivitas komunikasi memiliki pengaruh signifikan terhadap masa hidup node, sehingga pengguna dapat memahami pentingnya efisiensi energi dalam perancangan WSN.

Ditinjau dari aspek metodologi, penggunaan SDLC terbukti efektif dalam menghasilkan sistem yang terstruktur dan sesuai kebutuhan pembelajaran. Tahapan analisis kebutuhan memastikan materi yang disimulasikan relevan, sementara proses pengujian memastikan stabilitas dan fungsionalitas sistem. Dengan demikian, simulasi ini tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran, tetapi juga sebagai alat bantu untuk memahami tantangan implementasi WSN pada lingkungan IoT secara lebih realistis.

D. Evaluasi Sistem

Evaluasi dilakukan untuk menilai kinerja, fungsionalitas, dan kelayakan simulasi Wireless Sensor Network (WSN) berbasis game interaktif sebagai media pembelajaran. Proses evaluasi difokuskan pada kesesuaian sistem terhadap kebutuhan pembelajaran, kemudahan penggunaan, serta kemampuan simulasi dalam merepresentasikan konsep WSN secara interaktif.

Pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem, seperti simulasi komunikasi antar node sensor, visualisasi alur data, pengaturan topologi jaringan, serta skenario interaksi berbasis game, dapat berjalan dengan baik sesuai dengan perancangan. Sistem mampu menampilkan proses pengiriman data, konsumsi energi node, serta respons jaringan terhadap kondisi tertentu secara real-time, sehingga mendukung pemahaman konsep dasar WSN.

Dari sisi usability, simulasi dinilai mudah digunakan karena antarmuka dirancang secara intuitif dan interaktif. Elemen game, seperti kontrol berbasis skenario dan umpan balik visual, membantu pengguna memahami mekanisme kerja jaringan tanpa harus berinteraksi langsung dengan perangkat keras WSN yang kompleks. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan game-based learning efektif dalam meningkatkan keterlibatan pengguna selama

proses pembelajaran.

Selain itu, evaluasi juga menunjukkan bahwa simulasi mampu menjadi media alternatif pembelajaran yang aman dan fleksibel, khususnya dalam menggambarkan skenario jaringan yang sulit direalisasikan secara langsung. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran untuk mendukung pemahaman konsep Wireless Sensor Network dan keterkaitannya dengan Internet of Things (IoT).

E. Dampak Penelitian

Pengembangan simulasi Wireless Sensor Network (WSN) berbasis game interaktif sebagai media pembelajaran memberikan sejumlah dampak positif, baik dalam konteks pendidikan maupun pengembangan pemahaman teknologi jaringan. Dari sisi pendidikan, media pembelajaran ini mampu meningkatkan minat dan motivasi belajar peserta didik terhadap materi WSN yang sebelumnya dianggap kompleks dan sulit dipahami. Melalui visualisasi interaktif dan mekanisme permainan, peserta didik dapat memahami konsep abstrak seperti topologi jaringan, aliran data, manajemen energi, serta aspek keamanan jaringan secara lebih konkret dan aplikatif.

Dampak lain yang dihasilkan adalah meningkatnya keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran. Pendekatan *game-based learning* mendorong peserta didik untuk bereksplorasi, melakukan percobaan, dan mengambil keputusan secara mandiri dalam simulasi, sehingga proses belajar tidak hanya bersifat pasif, tetapi juga berbasis pengalaman (*experiential learning*). Hal ini berkontribusi pada peningkatan pemahaman konseptual dan kemampuan berpikir kritis dalam menganalisis perilaku jaringan WSN pada berbagai skenario.

Dalam konteks teknologi, simulasi ini memberikan dampak sebagai media pengenalan awal terhadap implementasi WSN dan Internet of Things (IoT). Peserta didik memperoleh gambaran menyeluruh mengenai cara kerja sistem sensor nirkabel, mulai dari proses pengambilan data, komunikasi antar node, hingga tantangan yang dihadapi seperti keterbatasan energi dan ancaman keamanan. Pemahaman ini dapat menjadi fondasi yang kuat untuk pengembangan sistem IoT yang lebih kompleks di masa mendatang.

Selain itu, penelitian ini berdampak pada pengembangan media pembelajaran digital yang inovatif dan adaptif terhadap karakteristik generasi digital. Simulasi berbasis game interaktif dapat menjadi alternatif pembelajaran yang relevan dengan kebiasaan penggunaan teknologi pada peserta didik, sehingga berpotensi diterapkan secara lebih luas pada pembelajaran jaringan komputer, sistem terdistribusi, dan teknologi cerdas lainnya.

V. PEMBAHASAN

Pengembangan simulasi Wireless Sensor Network (WSN) berbasis game interaktif dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan Game-Based Learning (GBL) mampu menjembatani kesenjangan antara konsep teoretis dan pemahaman praktis peserta didik terhadap sistem jaringan yang kompleks. Melalui simulasi yang dirancang secara visual dan interaktif, konsep-konsep abstrak seperti topologi jaringan, aliran data antar node, manajemen energi, serta aspek keamanan WSN dapat dipahami dengan lebih mudah dibandingkan metode pembelajaran konvensional yang bersifat tekstual dan statis.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi elemen permainan, seperti interaksi langsung dengan node sensor, simulasi skenario jaringan, serta umpan balik visual secara real-time, mendorong keterlibatan aktif pengguna dalam proses pembelajaran. Hal ini sejalan dengan prinsip GBL yang menekankan keterlibatan, eksplorasi, dan pembelajaran berbasis pengalaman. Peserta didik tidak hanya berperan sebagai penerima informasi, tetapi juga sebagai aktor yang secara aktif bereksperimen dengan konfigurasi jaringan dan mengamati dampaknya terhadap performa sistem.

Dari sisi teknis, simulasi yang dikembangkan mampu merepresentasikan arsitektur dasar WSN, termasuk hubungan antara node sensor, gateway, dan server aplikasi. Perbedaan karakteristik teknologi komunikasi nirkabel seperti WiFi, ZigBee, dan LoRaWAN dapat divisualisasikan dalam simulasi, sehingga peserta didik memperoleh pemahaman komparatif mengenai jangkauan komunikasi, konsumsi energi, dan stabilitas jaringan. Representasi ini memberikan konteks nyata terhadap teori yang selama ini dipelajari secara abstrak.

Pendekatan System Development Life Cycle (SDLC) yang digunakan dalam pengembangan sistem terbukti efektif dalam memastikan proses perancangan berjalan terstruktur dan sistematis. Setiap tahapan, mulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian, berkontribusi terhadap kualitas akhir simulasi. Tahap pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan sesuai dengan skenario yang dirancang dan mampu digunakan sebagai media pembelajaran tanpa gangguan fungsional yang signifikan.

Selain aspek pembelajaran jaringan, simulasi ini juga membuka ruang pemahaman awal terhadap keterkaitan WSN dengan ekosistem Internet of Things (IoT). Peserta didik dapat melihat bagaimana data dikumpulkan, diproses, dan dikirim dalam sistem terdistribusi, yang menjadi fondasi penting dalam pengembangan aplikasi IoT di dunia nyata. Dengan demikian, simulasi ini tidak hanya relevan untuk pembelajaran WSN, tetapi juga berpotensi menjadi media pengantar untuk materi IoT dan sistem cerdas lainnya.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa simulasi WSN berbasis game interaktif memiliki potensi besar sebagai media pembelajaran yang efektif, adaptif, dan relevan dengan perkembangan teknologi jaringan modern. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi alternatif pembelajaran yang mampu meningkatkan kualitas pemahaman konsep, minat belajar, serta kesiapan peserta didik dalam menghadapi tantangan teknologi jaringan dan IoT di masa depan.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa simulasi Wireless Sensor Network (WSN) berbasis game interaktif mampu menjadi media pembelajaran yang efektif dalam membantu pemahaman konsep jaringan sensor nirkabel. Pendekatan Game-Based Learning (GBL) memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan interaktif, sehingga peserta didik dapat memahami konsep abstrak WSN, seperti topologi jaringan, alur komunikasi data, manajemen energi, serta aspek keamanan jaringan, secara lebih mudah dan kontekstual.

Penerapan metode System Development Life Cycle (SDLC) dalam pengembangan sistem terbukti mampu menghasilkan simulasi yang terstruktur, sistematis, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran. Setiap tahapan SDLC, mulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian, berkontribusi dalam memastikan bahwa simulasi yang dikembangkan memiliki fungsionalitas yang baik, tampilan yang intuitif, serta stabilitas sistem yang memadai sebagai media edukasi.

Selain itu, simulasi WSN berbasis game interaktif juga relevan sebagai sarana pengenalan konsep Internet of Things (IoT), mengingat peran WSN sebagai komponen utama dalam sistem IoT modern. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi simulasi interaktif dan game-based learning dapat menjadi alternatif pembelajaran yang efektif dalam bidang jaringan komputer dan sistem terdistribusi, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung pembelajaran berbasis teknologi di masa mendatang.

Kontribusi Penulis: [Nabila Ambarwati]:Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan Pendahuluan, Penyuntingan, Supervisi. Nabila Ambarwati berperan dalam perumusan konsep dan metodologi penelitian, penyusunan bagian pendahuluan, serta melakukan supervisi dan penyuntingan keseluruhan naskah penelitian.

[Moh.Rafael Kamil Ardiansyah]: Tinjauan Pustaka, Visualisasi, Evaluasi Sistem, Implementasi Sistem, Penulisan Hasil, Evaluasi, dan Pembahasan. Moh. Rafael Kamil Ardiansyah bertanggung jawab dalam penyusunan tinjauan pustaka, pengembangan dan implementasi sistem simulasi WSN berbasis game interaktif, pembuatan visualisasi sistem dan hasil, serta pelaksanaan dan penulisan evaluasi sistem.

[Radhitya Dwi Akmal Purnomo]: Analisis Pendukung, Validasi, Penulisan Kesimpulan. Radhitya Dwi Akmal Purnomo berkontribusi dalam analisis pendukung, validasi hasil penelitian, serta penyusunan bagian kesimpulan.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: <https://orcid.org/0000-0001-9142-1234>

Penulis Kedua: <https://orcid.org/0000-0002-1234-5678>

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] Safiuddin, S., & Putra, F. P. E. (2023). Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN). *INFORMATICS FOR EDUCATORS AND PROFESSIONAL: Journal of Informatics*, 8(1), 52-56. Doi <https://doi.org/10.51211/itbi.v8i1.2441>
- [2] Culler, D., Estrin, D., & Srivastava, M. (2004). Guest editors' introduction: Overview of sensor networks. *Computer*, 37(08), 41-49. Doi <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MC.2004.93>
- [3] Handayani, A. S., Pujiana, D., Husni, N. L., Amin, J. M., Sitompul, C. R., Taqwa, A., & Soim, S. (2018, October). Robustness of Sensors Network in Environmental Monitoring. In 2018 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST) (pp. 515-520). IEEE. Doi <https://doi.org/10.1109/iCAST1.2018.8751508>
- [4] Putra, A. N., & Yundra, E. (2019). Pengembangan trainer weather station dengan sistem wireless sensor network sebagai media pembelajaran pada mata pelajaran Mikroprosesor dan Mikrokontroler di SMK Negeri 1 Blitar. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 8(1). Doi <https://doi.org/10.26740/jpte.v8n1.p%25p>
- [5] G. P. N. Hakim, D. Septiyana, and I. Suwarno, "Survey Paper Artificial and Computational Intelligence in the Internet of Things and Wireless Sensor Network," *J. Robot. Control*, vol. 3, no. 4, pp. 439–454, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i4.15539.
- [6] W. Choi, J. Kim, S. E. Lee, and E. Park, "Smart home and internet of things: A bibliometric study," *J. Clean. Prod.*, vol. 301, p. 126908, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126908.
- [7] Anggy Giri Prawiyogi and Aang Solahudin Anwar, "Perkembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review," *J. MENTARI Manajemen, Pendidik. dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 187–197, 2023, doi: 10.34306/mentari.v1i2.254.
- [8] S. Barkin, E. H. Ip, I. Richardson, S. Klinepeter, S. Finch, dan M. Krcmar, "Technology and Early Childhood Health: Trends and Considerations," *Academic Pediatrics*, vol. 22, no. 2, pp. 315-323, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.acap.2021.08.009>
- [9] M. Y. Chang, C. H. Yuan, dan Y. P. Chi, "The Role of Mobile Digital Devices in Early Childhood Development: A Review of Recent Studies," *Early Child Development and Care*, vol. 193, no. 6, pp. 911-925, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/03004430.2021.1989633>.
- [10] Jahirin dan Amelinda, "HUBUNGAN PENGGUNAAN GADGET (HANDPHONE) DENGAN POLA PERKEMBANGAN SOSIAL ANAK USIA PRASEKOLAH," *VII*, no. 2, 2019. . [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/03004430.2021.1989633>.
- [11] R. A. Fidalgo, C. Rocha, dan P. Alves-Oliveira, "Smart Toy in Early Childhood and Primary Education: A Systematic Review of Technological and Educational Affordances," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 15, p. 6734, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11156734>
- [12] Bian, W. Li, H. Jin, J. Li, Y. Li, dan S. Wang, "A Voice Recognition Sensor and Voice Control System in an Intelligent Toy Robot System," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 8, p. 712517, 2021.

- [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.712517>
- [13] C. L. Casas, V. Charisi, K. Groth, dan F. Wijnen, "Influence of a Socially Assistive Robot on Physical Activity, Social Play Behavior, and Toy-Use Behaviors of Children in a Free Play Environment," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 8, p. 676553, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.676553>
 - [14] Fauzan Prasetyo Eka Putra, S. Mishra, V. K. Jain, K. Gyoda, and S. Jain, "An efficient content replacement policy to retain essential content in informationcentric networking based internet of things network," *Ad Hoc Networks*, vol. 155, 2024, doi: 10.1016/j.adhoc.2023.103389.
 - [15] K. Li et al., "When Internet of Things Meets Metaverse: Convergence of Physical and Cyber Worlds," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 5, pp. 4148–4173, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3232845.
 - [16] M. Malnar and N. Jevtic, "An improvement of AODV protocol for the overhead reduction in scalable dynamic wireless ad hoc networks," *Wirel. Networks*, vol. 28, no. 3, pp. 1039–1051, 2022, doi: 10.1007/s11276-022-02890-5.
 - [17] A. I. Griva et al., "LoRa-Based IoT Network Assessment in Rural and Urban Scenarios," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/s23031695.
 - [18] T. Mazhar et al., "Analysis of Challenges and Solutions of IoT in Smart Grids Using AI and Machine Learning Techniques: A Review," *Electron.*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.3390/electronics12010242.
 - [19] R. A. Putra and A. Ma'arif, "Internet of Things (IoT) Based Speed Monitoring System for Electric Cars," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 182–189, 2024, doi: 10.12928/biste.v6i2.11317.
 - [20] Fauzan Prasetyo Eka Putra, J. Seetha, R. Priyadarshini, M. Gopila, and G. Saranya, "IoT-based patient monitoring system for predicting heart disease using deep learning," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 218, 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.113235. doi: <https://doi.org/10.71155/fht5vy25>
 - [21] Y. Gil, C. Greaves, J. Hendler, and H. Hirsh, "Interactive Knowledge Acquisition Tools: A Perspective of Individualized Instruction," in *Proc. 24th Annu. Conf. Cognitive Science Association*, 2019, pp. 1152–1157. doi: <https://doi.org/10.71155/fht5vy25>
 - [22] Z. Liu, L. Huang, and X. Zhang, "Using the Concept of Game-Based Learning in Education," *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 15, no. 14, pp. 112–127, 2020.
 - [23] S. Gunawan, A. A. R. Santosa, dan E. M. S. Sakti, "Analisis Keamanan Jaringan 5G: Ancaman dan Upaya Mitigasi," *TEKINFO*, vol. 22, no. 2, hlm. 54–62, Okt 2024, doi: 10.37817/tekinfo.v25i2..
 - [24] M. Syani, E. A. Firdaus, dan D. Mulyana, "Design a Chicken Coop Monitoring System Based on the Internet of Things," *NUANSA INFORMATIKA*, vol. 18, no. 1, hlm. 106–114, 2024, doi: <https://doi.org/10.25134/ilkom.v18i1.64>.
 - [25] AWS. (2023). Apa itu 5G?. AmazonWebServices, Inc.. <https://aws.amazon.com/id/whatis/5g/>. DOI: <https://doi.org/10.30811/litek.v21i1.33>
 - [26] V. T. Truong, A. Nayyar, and S. A. Lone, "System performance of wireless sensor network using LoRa-Zigbee hybrid communication," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 68, no. 2, pp. 1615–1635, 2021, doi: 10.32604/cmc.2021.016922.
 - [27] S. Sadowski and P. Spachos, "Wireless technologies for smart agricultural monitoring using internet of things devices with energy harvesting capabilities," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 172, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105338.
 - [28] Ramadevi, P., Ayyasamy, S., Suryaprakash, Y., Anilkumar, C., Vijayakumar, S., & Sudha, R. (2023). Security for wireless sensor networks using cryptography. *Measurement: Sensors*, 29(August), 100874. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100874>
 - [29] Ahmad, R., Wazirali, R., & Abu-Ain, T. (2022). Machine Learning for Wireless Sensor Networks Security: An Overview of Challenges and Issues. *Sensors*, 22(13). <https://doi.org/10.3390/s22134730>.
 - [30] Salmi, S., & Oughdir, L. (2023). Performance evaluation of deep learning techniques for DoS attacks detection in wireless sensor network. *Journal of Big Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00692-w>.
 - [31] Guerrero-Sanchez, A. E., Rivas-Araiza, E. A., Gonzalez-Cordoba, J. L., Toledano-Ayala, M., & Takacs, A. (2020). Blockchain mechanism and symmetric encryption in a wireless sensor network. *Sensors (Switzerland)*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/s20102798>.
 - [32] Ismail, S., Dawoud, D. W., & Reza, H. (2023). Securing Wireless Sensor Networks Using Machine Learning and Blockchain: A Review. *Future Internet*, 15(6), 1–45. <https://doi.org/10.3390/fi15060200>.
 - [33] Oztoprak, A., Hassanpour, R., Ozkan, A., & Oztoprak, K. (2024). Security Challenges, Mitigation Strategies, and Future Trends in Wireless Sensor Networks: A Review. *ACM Computing Surveys*, 57(4).

- <https://doi.org/10.1145/3706583>.
- [34] Nancy, P., Muthurajkumar, S., Ganapathy, S., Santhosh Kumar, S. V. N., Selvi, M., & Arputharaj, K. (2020). Intrusion detection using dynamic feature selection and fuzzy temporal decision tree classification for wireless sensor networks. *IET Communications*, 14(5), 888–895. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2019.0172>.
 - [35] Nourildean, S. W., Hassib, M. D., & Mohammed, Y. A. (2022). Internet of things based wireless sensor network: a review. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 27(1), 246–261. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v27.i1.pp246-261>.
 - [36] Mengistu, T. M., Kim, T., & Lin, J. W. (2024). A Survey on Heterogeneity Taxonomy, Security and Privacy Preservation in the Integration of IoT, Wireless Sensor Networks and Federated Learning. *Sensors*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/s24030968>.
 - [37] Heidari, A., & Mollah, M. (2024). Assessment of reliability and availability of wireless sensor networks in industrial applications by considering permanent faults. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 36(3), e8252. <https://doi.org/10.1002/cpe.8252>.
 - [38] Rehman, A., Abdullah, S., Fatima, M., Iqbal, M. W., Almarhabi, K. A., Ashraf, M. U., & Ali, S. (2022). Ensuring Security and Energy Efficiency of Wireless Sensor Network by Using Blockchain. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/app122110794>.
 - [39] Hsiao, S. J., & Sung, W. T. (2021). Employing Blockchain Technology to Strengthen Security of Wireless Sensor Networks. *IEEE Access*, 9, 72326–72341. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079708>.
 - [40] Guerrero-Sanchez, A. E., Rivas-Araiza, E. A., Gonzalez-Cordoba, J. L., Toledano-Ayala, M., & Takacs, A. (2020). Blockchain mechanism and symmetric encryption in a wireless sensor network. *Sensors (Switzerland)*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/s20102798>.
 - [41] Paharia, B., & Bhushan, K. (2019). A comprehensive review of distributed denial of service (DDoS) attacks in fog computing environment. In *Handbook of Computer Networks and Cyber Security: Principles and Paradigms*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22277-2_20.
 - [42] Talukder, M. A., Khalid, M., & Sultana, N. (2025). A hybrid machine learning model for intrusion detection in wireless sensor networks leveraging data balancing and dimensionality reduction. *Scientific Reports*, 15, 4617. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87028-1>.
 - [43] Kumar, P., Baliyan, A., Prasad, K. R., Sreekanth, N., Jawarkar, P., Roy, V., & Amoatey, E. T. (2022). Machine Learning Enabled Techniques for Protecting Wireless Sensor Networks by Estimating Attack Prevalence and Device Deployment Strategy for 5G Networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5713092>.
 - [44] Fang, W., Zhang, W., Chen, W., Pan, T., Ni, Y., & Yang, Y. (2020). Trust-Based Attack and Defense in Wireless Sensor Networks: A Survey. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2643546>.
 - [45] Tariq, M. I., Ahmed, S., Memon, N. A., Tayyaba, S., Ashraf, M. W., Nazir, M., Hussain, A., Balas, V. E., & Balas, M. M. (2020). Prioritization of information security controls through fuzzy AHP for cloud computing networks and wireless sensor networks. *Sensors (Switzerland)*, 20(5), 1–36. <https://doi.org/10.3390/s20051310>.
 - [46] Ali, S., Humaria, A., Ramzan, M. S., Khan, I., Saqlain, S. M., Ghani, A., Zakia, J., & Alzahrani, B. A. (2020). An efficient cryptographic technique using modified Diffie–Hellman in wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(6). <https://doi.org/10.1177/1550147720925772>.
 - [47] Moghadam, M. F., Nikooghadam, M., Jabban, M. A. B. Al, Alishahi, M., Mortazavi, L., & Mohajerzadeh, A. (2020). An Efficient Authentication and Key Agreement Scheme Based on ECDH for Wireless Sensor Network. *IEEE Access*, 8, 73182–73192. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987764>.
 - [48] Chandnani, N., & Khairnar, C. N. (2022). An analysis of architecture, framework, security and challenging aspects for data aggregation and routing techniques in IoT WSNs. *Theoretical Computer Science*, 929(June 2022), 95–113. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2022.06.032>.
 - [49] Putra, F. P. E., R.A., M. K., G, M. W. R., & Huda, V. (2025). Analisis Kinerja dan Keamanan Protokol PPTP dan L2TP/IPSec VPN pada Jaringan MikroTik. 8(2), 334–344. <https://doi.org/10.29408/jit.v8i2.30230>.
 - [50] Putra, F. P. E., Tamam, A. B., Efendi, R. W., & Muim, Z. (2024). Optimasi Keamanan DNS_ Eksplorasi Optimal dengan Implementasi DNS Security Extensions (DNSSEC). *Riset Dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 8(1), 349–358. DOI:10.33395/remik.v8i1.13398.

Publisher's Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.