

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam beberapa tahun terakhir, literatur tentang penerapan *IoT* di lingkungan pendidikan mengalami peningkatan tajam, dengan fokus terpusat pada bagaimana perangkat-perangkat fisik (misalnya *RFID reader*, mikrokontroler seperti *ESP32*) dapat mendukung proses administratif dan layanan pendidikan—terutama sistem presensi. Kajian dan survei mutakhir menyoroti dua jalur penelitian utama: (1) pengembangan prototipe teknis untuk absensi otomatis dan (2) kajian adopsi atau dampak *IoT* terhadap proses pembelajaran dan manajemen sekolah. Sejumlah tinjauan komprehensif melaporkan bahwa solusi berbasis *RFID—IoT* konsisten mempercepat pencatatan kehadiran, mengurangi kesalahan input manusia, serta membuka kemungkinan integrasi data *real time* ke layanan digital lain seperti notifikasi wali murid dan *dashboard* administrasi (Shingane dkk., 2025; Irawan dkk., 2018).

Kelompok studi teknis pada lima tahun terakhir banyak berfokus pada konstruksi sistem absensi berbasis *RFID* dan *ESP32* yang siap pakai untuk institusi pendidikan. Artikel prototipe tersebut umumnya mendeskripsikan arsitektur dasar: *MFRC522 reader* atau modul *RFID* lain untuk pembacaan kartu, mikrokontroler (*ESP32* populer karena kemampuan *WiFi* dan harga terjangkau), penyimpanan sementara atau langsung ke *cloud* (server, *Google Sheets*, atau *database*), serta antarmuka *web* atau aplikasi *mobile* untuk menampilkan hasil. Metode yang lazim digunakan meliputi *development prototyping*, integrasi *RESTful API* untuk sinkronisasi data, serta pengujian fungsional berupa akurasi pembacaan, waktu respons, dan *reliability* dalam kondisi lapangan. Implementasi nyata yang memanfaatkan *ESP32* menunjukkan kemudahan integrasi ke layanan berbasis *web* karena *ESP32* dapat bertindak sebagai *HTTP client*. Studi-studi *prototype* tersebut menjadi landasan teknis yang relevan untuk merancang integrasi *IoT* ke SILAKAN (Huda dkk., 2020; Kahar dan Thamrin, 2025).

Sejumlah penelitian juga mengkaji integrasi *IoT* dengan layanan *web* dan *cloud*, dengan penekanan pada teknik sinkronisasi data, penggunaan *API*, serta

manajemen *database* terpusat. Praktik terbaik dari literatur menunjukkan pentingnya lapisan *middleware* atau *API endpoint* yang menangani autentikasi, normalisasi data, serta *retry logic* untuk menjamin konsistensi ketika koneksi jaringan tidak stabil. Selain itu, beberapa studi menjelaskan pola arsitektur integrasi: (a) *edge device* >> *REST—HTTP* >> *middleware server* >> *sistem informasi sekolah* atau (b) *edge device* >> *local gateway* >> *synchronized batch upload* >> *EMIS*. Pilihan arsitektur ini berimplikasi pada desain integrasi SILAKAN, apakah menggunakan sinkronisasi *real time* atau pengiriman *batch* yang lebih toleran terhadap gangguan jaringan (Yaqoob dkk., 2017; Botta dkk., 2016).

Dari sisi evaluasi dan metodologi, penelitian terkini cenderung menggabungkan pengujian kuantitatif seperti rasio keberhasilan dengan uji kegunaan dengan *test case* untuk menguji fungsionalitas *IoT*. *Prototyping* yang memadukan pengujian fungsional dengan uji keberterimaan menjadi pendekatan dominan karena sifat *IoT* yang mudah dimodifikasi namun sangat bergantung pada konteks operasi seperti ruang kelas, jumlah murid, dan kebiasaan penggunaan kartu. Pendekatan eksperimen lapangan ini relevan untuk penelitian integrasi operasional SILAKAN, karena selain performa teknis, faktor adopsi dan keberterimaan pengguna menentukan kesuksesan implementasi (Syahputra dan Santoso, 2025; Usman dkk., 2021).

Selain aspek teknis, beberapa studi juga menyoroti masalah non-teknis dalam penerapan *IoT* di sekolah: ketersediaan infrastruktur jaringan, kesiapan *workflow*, dan kebutuhan integrasi dengan sistem administratif yang telah berjalan. Meskipun banyak laporan prototipe berhasil secara teknis, hambatan sering muncul pada tahap transisi dari *proof-of-concept* ke implementasi nyata, termasuk kebutuhan *mapping data ID* kartu dengan akun murid, validasi identitas, dan standarisasi format data antar sistem. Hal ini menegaskan bahwa integrasi tidak hanya berkaitan dengan perangkat keras, tetapi juga melibatkan penataan proses bisnis dan harmonisasi data antara modul *IoT* dan *EMIS* (Mangler dkk., 2024; Domínguez-Bolano dkk., 2024).

Tinjauan literatur juga mengidentifikasi dua kekosongan utama: pertama, sebagian besar penelitian masih fokus pada sistem absensi mandiri dengan *dashboard* terpisah tanpa integrasi mendalam dengan *EMIS* yang digunakan sehari-hari, sehingga masih terjadi pekerjaan manual ganda; kedua, meskipun prototipe berbasis *ESP32* dan *RFID* banyak dilaporkan, hanya sedikit yang menyajikan desain integrasi *end-to-end* yang mencakup sinkronisasi, *mapping* identitas pengguna, dan prosedur operasional untuk adopsi di skala sekolah. Penelitian ini berposisi mengisi kekosongan tersebut dengan fokus pada integrasi teknis dan proses antara perangkat *IoT* (*ESP32*, *MFRC522*, *RFID card*, *LCD*) dan *SILAKAN*, termasuk perancangan arsitektur sinkronisasi data serta evaluasi lapangan atas kinerja integrasi dan dampaknya pada alur kerja administratif (Chandru dkk., 2025; Widsono dan Nuroji., 2023).

Sebagai ringkasan, penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa teknologi *RFID—IoT* efektif untuk otomatisasi absensi (bukti teknis), sedangkan kajian adopsi menyoroti manfaat sosial dan organisasional dari penerapan *IoT* dalam pendidikan. Namun, masih sedikit literatur yang secara khusus mendokumentasikan integrasi ke dalam *EMIS* yang sudah berjalan beserta evaluasi implementasinya di sekolah menengah pertama. Oleh karena itu, penelitian ini ditempatkan sebagai studi aplikasi terapan yang menggabungkan pengembangan prototipe teknis (*ESP32* + *MFRC522* + *RFID* + *LCD*) dengan desain integrasi data (*API/middleware*) dan evaluasi implementasi di SMP Negeri 6 Pekalongan, sehingga memberikan kontribusi praktis sekaligus konseptual dalam literatur *smart education* (Widsono dan Nuroji, 2023; Al-Fuqaha dkk., 2015). Tabel 2.1 berikut merangkum penelitian terdahulu sekaligus menunjukkan gap penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilaksanakan.

Tabel 2.1 Tabel Referensi Perbandingan Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Metode / Rancangan	Gap Penelitian
1	El Mrabet, H., dan Abdelaziz, A. M. (2020)	<i>IoT-School Attendance System Using RFID Technology</i>	Implementasi presensi <i>RFID</i> + <i>IoT</i> , notifikasi <i>realtime</i>	Belum ada integrasi penuh ke <i>SIS/LMS</i>
2	Farag, W. A. (2023)	<i>An RFID-based Smart School Attendance and Monitoring System</i>	<i>RFID</i> terpusat untuk presensi murid, diuji di sekolah	Skalabilitas terbatas dan tidak ada <i>middleware/API</i> untuk <i>SIS</i>
3	Mazlan, N. A. A., dan Ahmad, A. (2025)	<i>I-Attend: A Smart Attendance System for Secondary Schools Using RFID</i>	<i>Prototipe RFID</i> dengan <i>cloud</i> ; diuji <i>usability</i> di sekolah	Tidak detail hardware (<i>ESP32/MFRC522</i>) dan integrasi <i>EMIS</i> belum ada
4	Shrivastava, A. dkk. (2023)	<i>IoT Based RFID Attendance Monitoring System using Arduino ESP8266 & Adafruit.io</i>	<i>RFID</i> + <i>ESP8266</i> ; data ke <i>cloud Adafruit.io</i>	Belum integrasi <i>EMIS</i> dan keterbatasan <i>offline mode</i>
5	Nguyen, V. D. dkk. (2022)	<i>IoT-Based Intelligent Attendance System: Framework, Practice Implementation and Application</i>	<i>Framework IoT</i> presensi berbasis <i>cloud</i> ; <i>prototype</i> sistem	Tidak spesifik <i>ESP32/MFRC522</i> dan integrasi masih umum

6	Zhao, M. dkk. (2022)	<i>College Smart Classroom Attendance Management System Based on IoT</i>	<i>IoT attendance dengan RFID + face recognition</i>	Kompleksitas tinggi dan integrasi EMIS tidak dijelaskan
7	Burunkaya, M. dan Duraklar, K. (2022)	<i>Design and Implementation of an IoT-Based Smart Classroom Incubator</i>	<i>IoT modular; integrasi via API</i>	Fokus arsitektur teknis dan belum spesifik di sekolah
8	Rukhiran, M. dkk. (2023)	<i>User Acceptance Factors Related to Biometric Recognition for Examination Attendance</i>	Studi faktor penerimaan biometrik presensi	Fokus biometrik, bukan RFID/ESP32 walaupun relevan untuk pembahasa user acceptance
9	Yang, H., dan Han, X. (2020)	<i>Face Recognition Attendance System Based on Real Time Video Processing</i>	Presensi berbasis face recognition IoT	Tidak menggunakan RFID
10	Podder, S. K. dkk. (2024)	<i>Impact of IoT Applications on HR and Attendance Monitoring</i>	<i>Review IoT untuk attendance di HR</i>	Fokus HR (bukan sekolah)
11	Febriana, L. A. F., dan Sapto Aji, W. (2024)	<i>Design of Automatic Attendance System Using RFID and ESP32 Based on IoT</i>	<i>ESP32 + MFRC522; latency test; HTTP/MQTT</i>	Belum ada integrasi EMIS hanya prototype

12	Harum, N. B. dkk. (2023)	<i>RFID Attendance System with Contagious Disease Prevention Module using IoT</i>	<i>RFID + sensor suhu + Arduino/ESP</i>	Fokus kesehatan; integrasi <i>EMIS</i> belum ada
13	Puspitasari, D. dkk. (2023)	<i>Smart Attendance System Using RFID and ESP32CAM</i>	<i>ESP32CAM + RFID; kombinasi image capture & RFID</i>	Integrasi <i>EMIS</i> tidak ada;
14	Kumar dan Singh (2022)	<i>Attendance System Using RFID Tag</i>	<i>Prototipe RFID attendance system di laboratorium</i>	Tidak menyebut <i>ESP32</i> ; skala kecil; belum ada integrasi <i>SIS</i>
15	dan Syamsudin (2023)	<i>Real Time School Gate Monitoring melalui E-Card OSIS Menggunakan RFID UHF dan ESP32</i>	<i>ESP32 + RFID UHF; monitoring gerbang sekolah real time; uji efektivitas sistem</i>	Tidak ada integrasi <i>EMIS</i> formal; fokus gerbang sekolah, bukan presensi kelas penuh

Berdasarkan telaah terhadap lima belas penelitian terkait sistem presensi berbasis *IoT* dan *RFID* pada tabel 2.1, dapat diidentifikasi sejumlah kesenjangan (*research gap*) dan perbandingan penting baik dari segi teknis, integrasi sistem, maupun aspek penerimaan pengguna. Secara umum, sebagian besar penelitian — seperti yang dilakukan oleh El Mrabet dan Abdelaziz (2020), Farag (2023), Mazlan dan Ahmad (2025), dan Shrivastava dkk. (2023) — berfokus pada implementasi dan pengujian *prototipe* presensi berbasis *RFID* dan *IoT*. Meskipun sistem-sistem tersebut telah berhasil menunjukkan fungsi presensi otomatis dan notifikasi *real time*, seluruhnya masih memiliki keterbatasan dalam integrasi penuh *EMIS* atau *Learning Management System (LMS)*, sehingga data kehadiran belum dapat terhubung secara otomatis dengan sistem akademik sekolah.

Penelitian lain, seperti yang dilakukan oleh Nguyen dkk. (2022), Zhao dkk. (2022), dan Burunkaya dan Duraklar (2022), memperluas konsep dengan memperkenalkan kerangka kerja *IoT* berbasis *cloud* dan modul tambahan seperti pengenalan wajah (*face recognition*) atau integrasi berbasis *API*. Namun, penelitian-penelitian ini cenderung lebih menekankan pada aspek arsitektur dan teknis daripada penerapan di lingkungan sekolah menengah, serta belum mengatasi kendala interoperabilitas dan manajemen data lintas *platform*. Sementara itu, beberapa studi seperti Rukhiran dkk. (2023) dan Yang dan Han (2020) menyoroti dimensi penerimaan pengguna melalui pendekatan UTAUT atau studi biometrik, namun topiknya lebih bergeser dari *RFID* ke teknologi pengenalan wajah, sehingga relevansinya lebih bersifat pelengkap dalam konteks adopsi teknologi presensi digital.

Penelitian berbasis implementasi lokal, seperti Febriana dan Sapto Aji (2024), Harum dkk. (2023), Puspitasari dkk. (2023), serta Raswa dan Syamsudin (2023), mulai menonjolkan penggunaan microcontroller seperti *ESP32* dan modul *RFID MFRC522* atau *Ultra High Frequency (UHF)*, dengan fokus pada efisiensi konektivitas melalui protokol *HTTP* atau *MQTT*. Walau demikian, seluruhnya masih bersifat prototipe dan terbatas pada pengujian fungsional atau uji latensi, tanpa pengujian integratif terhadap sistem informasi sekolah atau evaluasi pengguna. Beberapa penelitian bahkan menambahkan dimensi tambahan seperti deteksi suhu (Harum dkk., 2023) dan *monitoring* gerbang sekolah (Raswa dan Syamsudin, 2023), namun penerapannya tetap belum mencapai tahap integrasi menyeluruh dalam konteks manajemen presensi akademik dan layanan pendidikan lainnya seperti layanan kantin (*e-money*).

Dari seluruh temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa gap utama terletak pada absennya model sistem presensi berbasis *RFID* dan *IoT* yang terintegrasi secara langsung dengan *SIS/LMS* sekolah melalui *middleware* atau *API* yang mampu melakukan sinkronisasi data secara otomatis. Selain itu, hanya sedikit penelitian yang menggabungkan evaluasi teknis dengan uji penerimaan pengguna (*user acceptance*), padahal hal ini penting untuk memastikan kesiapan adopsi sistem di lingkungan pendidikan nyata. Oleh karena itu, peluang penelitian

selanjutnya terletak pada pengembangan sistem presensi berbasis *ESP32–RFID* yang terhubung langsung ke *EMIS* sekolah dengan pendekatan arsitektur terbuka dan dukungan integrasi *real time*, serta disertai uji penerimaan pengguna untuk mengukur efektivitas dan keberterimaan sistem di konteks pendidikan menengah khususnya SMP Negeri 6 Pekalongan.

2.2. Dasar Teori

Dasar teori penelitian ini merupakan hasil dari studi literatur yang dilakukan pada awal penelitian. Bagian ini berisi rangkuman dan pembahasan studi literatur terhadap *proceedings*, jurnal ilmiah, buku, dan penelitian sebelumnya yang terkait dengan judul penelitian. Setiap literatur yang digunakan sebagai teori dalam penelitian ini dirangkum dan dibahas dalam poin-poin berikut :

2.2.1. Aplikasi web SILAKAN

SILAKAN SMP Negeri 6 Pekalongan merupakan sistem layanan pendidikan berbasis *web* yang dirancang untuk mendukung pengelolaan data akademik dan layanan sekolah secara terintegrasi dengan pembagian hak akses berbasis peran. Sistem ini melibatkan tiga peran utama, yaitu murid atau wali murid, guru, dan admin. Setiap pengguna harus melakukan autentikasi terlebih dahulu agar dapat mengakses layanan sesuai kewenangannya. Sesi penggunaan SILAKAN dapat diakhiri melalui fitur keluar sistem. Setelah berhasil masuk, murid atau wali murid memperoleh layanan yang berorientasi pada pemantauan informasi dan penyampaian kebutuhan layanan sekolah. Pengguna dapat mengakses ringkasan informasi melalui *dashboard*, melihat data diri yang tersimpan pada sistem, serta melakukan pembaruan data diri untuk menjaga akurasi identitas dan informasi pendukung.

Selain itu, sistem menyediakan layanan pelaporan masalah melalui modul kotak masalah, di mana murid atau wali murid dapat membuka *form* pengaduan dan mengirimkan laporan secara terstruktur. Pada aspek akademik, murid atau wali murid dapat memantau hasil belajar melalui akses nilai, serta memantau rekam kehadiran melalui akses presensi sehingga wali murid dapat mengikuti perkembangan kedisiplinan dan aktivitas belajar murid secara lebih transparan.

Guru berperan sebagai pelaksana proses akademik dan kedisiplinan murid di dalam sistem. Guru memiliki akses untuk melihat ringkasan informasi yang relevan melalui *dashboard*, melakukan pencatatan presensi sebagai data kehadiran harian, serta memasukkan nilai sebagai bagian dari pelaporan hasil belajar murid. Data yang di-*input* guru akan menjadi dasar informasi yang ditampilkan kembali kepada murid atau wali murid. Admin berfungsi sebagai pengelola sistem dan penanggung jawab kualitas data serta layanan. Admin mengelola *database* utama yang mendukung operasional sistem, termasuk pengelolaan data murid, data guru, dan data mata pelajaran melalui fungsi tambah, lihat, ubah, dan hapus agar struktur data selalu konsisten. Admin juga menangani laporan yang masuk pada kotak masalah dengan cara membaca laporan, melakukan verifikasi, dan memberikan respons sebagai tindak lanjut layanan. Dengan alur tersebut, sistem memastikan proses administrasi sekolah, pelaporan akademik, pelaporan masalah, dan pemantauan presensi berjalan dalam satu *platform* yang saling terhubung, sekaligus menjaga akuntabilitas melalui pembagian peran dan kontrol akses pada setiap fitur.

Menurut Laudon dan Laudon (2020), sistem informasi manajemen berfungsi untuk mendukung pengambilan keputusan, koordinasi, analisis, serta kontrol melalui integrasi data lintas proses bisnis. Dalam konteks pendidikan, sistem informasi sekolah memungkinkan transparansi dan akuntabilitas, karena guru, murid, dan wali murid dapat berinteraksi melalui platform digital.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penerapan *EMIS* mampu mengurangi beban administrasi manual hingga 35% serta meningkatkan kepuasan *stakeholder* sekolah (Hujatulatif dkk., 2020). Di Indonesia, studi Chandra dan Amrizal (2023) menegaskan bahwa adopsi sistem informasi pendidikan dapat meningkatkan kecepatan pengolahan data, meski masih terkendala integrasi modul yang belum optimal. Hambatan terbesar biasanya terletak pada proses presensi yang sering tetap dilakukan secara manual, sehingga menimbulkan redundansi data.

Konsep interoperabilitas menjadi penting dalam pengembangan sistem informasi pendidikan. Menurut Akbar dkk. (2023), interoperabilitas memungkinkan subsistem yang berbeda saling terhubung dan bertukar data tanpa hambatan. *SILAKAN* sebagai *platform* sekolah berbasis *web* pada dasarnya sudah

memenuhi fungsi utama *EMIS*, tetapi tanpa integrasi perangkat *IoT*, pencatatan presensi tetap rawan kesalahan. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara sistem digital yang ada dengan kebutuhan otomatisasi.

2.2.2. *IoT* dalam Pendidikan

IoT merupakan paradigma teknologi yang memungkinkan perangkat fisik saling berkomunikasi melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, memproses, dan mendistribusikan data secara otomatis. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton (2019), dan kini menjadi salah satu fondasi dari era Revolusi Industri 4.0. Dalam konteks pendidikan, *IoT* berperan besar dalam mendukung otomatisasi administrasi sekolah, monitoring kegiatan belajar, serta meningkatkan interaksi antara murid, guru, dan wali murid.

IoT dalam pendidikan telah banyak diterapkan pada sistem presensi otomatis, *learning analytics*, hingga *classroom management*. Zhang dkk. (2021) menekankan bahwa penerapan *IoT* di sekolah mampu memberikan *real time data flow* yang sangat penting dalam mendukung transparansi dan efisiensi. Sebagai contoh, presensi berbasis *IoT* memungkinkan data kehadiran murid langsung tercatat pada sistem sekolah, sehingga mengurangi keterlambatan pelaporan dan kesalahan input manual. Studi Sianturi dan Sitio (2023) menunjukkan bahwa penerapan sistem presensi *IoT* di sekolah menengah mampu meningkatkan efisiensi administratif hingga 40% dibanding metode konvensional.

Arsitektur *IoT* sering dipetakan dalam tiga lapisan yaitu *perception layer*, *network layer*, dan *application layer*. Hal ini dilakukan agar aliran data dari objek fisik menuju layanan digital dapat dijelaskan secara runtut dan mudah ditelusuri pada tahap analisis maupun perancangan (Choudhary dkk., 2024). Kerangka berlapis ini juga memudahkan perancangan evaluasi, karena pengujian dapat disusun spesifik per lapisan: perangkat keras diuji pada *perception layer*, komunikasi diuji pada *network layer*, dan fungsi sistem informasi diuji pada *application layer* (Burhan dkk., 2018).

Peran *perception layer* adalah melakukan identifikasi objek dan akuisisi data dari lingkungan melalui perangkat pengindraan, misalnya *RFID*, sensor, atau

mekanisme identifikasi lain yang menghasilkan data mentah sebagai input sistem (Li dan Bai, 2022). Lapisan ini merupakan sumber data awal. Oleh sebab itu, kualitas pembacaan misalnya konsistensi dan ketepatan *UID* yang terbaca menjadi indikator teknis penting yang perlu didefinisikan sejak desain pengujian *perception layer* (Burhan dkk., 2018).

Selanjutnya, *network layer* bertanggung jawab membawa data dari perangkat menuju sistem *backend* aplikasi *web* melalui konektivitas jaringan dan protokol komunikasi, sehingga aspek reliabilitas koneksi dan keutuhan transmisi menjadi fokus utama pada lapisan ini (Burhan dkk., 2018). Literatur tentang perangkat *IoT* menjelaskan bahwa perangkat pada umumnya menyediakan beragam antarmuka komunikasi, misalnya *WiFi*, *Bluetooth*, dan *ZigBee*, untuk menghubungkan perangkat heterogen, serta menjalankan fungsi *protocol translation* atau *protocol conversion* agar data dan pesan dapat dipertukarkan ketika *protokol* pada sisi perangkat dan jaringan berbeda (Castellanos dkk., 2021; Ishaq dkk., 2013).

Pada *application layer*, data yang sudah terkirim diolah menjadi layanan dan informasi yang dapat dimanfaatkan pengguna, serta umumnya diikuti kebutuhan keamanan, seperti kontrol akses dan autentikasi, dan pengelolaan layanan yang terkait langsung dengan tujuan aplikasi (Abbasi dkk., 2022).

Dalam konteks penelitian integrasi presensi ini, *RFID reader* membaca *UID* pada kartu murid sebagai keluaran utama *perception layer* untuk merepresentasikan identitas murid secara otomatis dan terstandar (Li dan Bai, 2022; Burhan dkk., 2018). *UID* tersebut diteruskan ke *ESP32* sebagai pengendali yang mengatur alur kerja perangkat dan menyiapkan pengiriman data menuju *server* melalui jaringan sekolah sebagai fungsi *network layer* (Choudhary dkk., 2024). Untuk membangun konektivitas, *ESP32* dapat dikonfigurasi pada mode *WiFi station* agar dapat bergabung ke *access point* dan beroperasi sebagai klien jaringan. Pertukaran data dengan *SILAKAN* dilakukan menggunakan *HTTP*, yaitu protokol aplikasi yang bersifat *stateless* dan berbasis model *client-server*, sehingga setiap pemindaian kartu dapat diperlakukan sebagai satu transaksi *request-response* yang berdiri sendiri (Fielding dkk., 2022). Di sisi perangkat, *ESP32* dapat diprogram

pada *Arduino IDE* menggunakan library *<HTTPClient.h>* untuk mengirim data ke *server* melalui protokol *HTTP* dengan alur mencakup inisialisasi koneksi *WiFi*, pembacaan data, lalu pengiriman *payload* ke *server* menggunakan metode *HTTP POST* (misalnya dalam format *JSON* atau *form-data*), sehingga relevan untuk implementasi pengiriman *UID* ke *endpoint API* (Rizkiawan dkk., 2025).

Pada sisi aplikasi *web*, pola yang umum adalah *server* memeriksa *UID* pada *database*, menyimpan data presensi bila *UID valid*, lalu menampilkan status pada halaman *web* sebagai bagian dari fungsi *application layer* (Prasetyo dkk., 2022). Umpan balik dari hasil pemrosesan (berhasil/ditolak) kemudian dapat ditampilkan pada *LCD* dan diperkuat dengan indikator *buzzer* sebagai konfirmasi langsung kepada pengguna, seperti yang ditunjukkan Prasetyo dkk.(2022) pada rancangan presensi *RFID* berbasis *ESP32* yang terintegrasi *website*. Selain fungsi layanan, *application layer* juga terkait dengan kebutuhan keamanan seperti autentikasi/otorisasi dan perlindungan integritas data agar akses layanan hanya dilakukan oleh pihak yang sah sesuai kebutuhan sistem. Dengan demikian, pemetaan komponen penelitian ke tiga lapisan ini menjadi dasar analisis dan perancangan karena memperjelas titik integrasi *IoT-SILAKAN*, alur data, serta parameter uji yang relevan pada tiap lapisan (Fielding dkk., 2022).

Selain manfaat, terdapat tantangan signifikan, antara lain ketersediaan jaringan internet stabil, biaya implementasi, serta isu privasi data murid. Mekki dkk. (2019) menegaskan bahwa sistem *IoT* di sekolah baru akan optimal jika didukung oleh kebijakan keamanan data dan kesiapan organisasi. Oleh karena itu, penelitian ini penting karena tidak hanya membangun prototipe *IoT* untuk presensi, tetapi juga mengintegrasikannya dengan *SILAKAN* sebagai sistem informasi sekolah yang sudah berjalan, sehingga *SMP N 6 Pekalongan* memasuki era *smart education*.

2.2.3. MFRC 522 Radio Frequency Identification (RFID) Reader

Radio Frequency Identification (RFID) adalah teknologi identifikasi otomatis yang memanfaatkan gelombang radio untuk membaca data pada *tag* atau kartu yang berisi *chip* penyimpan informasi. *RFID* berbeda dengan *barcode* karena

tidak membutuhkan kontak langsung atau garis pandang optik, serta mampu menyimpan data lebih besar (Finkenzeller, 2010). Dalam sistem presensi berbasis *IoT*, *RFID* berfungsi sebagai lapisan persepsi yang mendeteksi identitas murid melalui kartu pintar.

Menurut Kumar dan Singh (2022), *RFID* terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan frekuensi: *Low Frequency (LF)*, *High Frequency (HF)*, dan *Ultra-High Frequency (UHF)*. Penelitian ini menggunakan *RFID HF* pada frekuensi 13,56 MHz, yang sesuai dengan standar *ISO/IEC 14443* dan umum digunakan dalam aplikasi kartu pintar sekolah maupun transportasi. Modul *RFID MFRC522* banyak dipilih karena murah, mudah diprogram dengan mikrokontroler seperti *ESP32*, serta mendukung komunikasi serial *SPI/I2C*. Kombinasi ini sangat cocok untuk pengembangan *prototype*.

Modul *MFRC522* dipilih karena merupakan *low-cost RFID module* dengan *IC* terintegrasi yang mampu melakukan *read* dan *write* secara *contactless* pada frekuensi 13,56 MHz, sehingga sesuai untuk skenario identifikasi cepat berbasis kartu pada perangkat presensi (Pratiwi dkk., 2020). Pada implementasi sistem tertanam, *MFRC522* memiliki jarak deteksi sekitar ± 5 cm, mendukung data *transfer rate* 848 Kbps, membutuhkan *power supply* 3,3 V, serta menyediakan antarmuka *SPI* hingga 10 Mbps, sehingga kompatibel dengan mikrokontroler 3,3 V dan kebutuhan pembacaan *UID* yang responsif (Nataliana dkk., 2019).

Dari sisi integrasi perangkat, penelitian lain menjelaskan bahwa modul *MFRC522* dapat dihubungkan ke mikrokontroler melalui pin *SPI* dan juga disebut mendukung *I2C* dan *UART*, sehingga memberi fleksibilitas antarmuka ketika perancangan perangkat memerlukan kompromi jumlah pin maupun tata letak rangkaian (Ariyanto, 2023). Selain kompatibilitas antarmuka, spesifikasi *MFRC522* juga mendukung penggunaan pada modul *IoT* untuk presensi yang bekerja terus-menerus dengan kebutuhan daya relatif rendah (Arifin dkk., 2023).

Pemilihan *MFRC522* juga relevan karena perangkat ini telah umum dipakai sebagai komponen autentikasi identitas pada sistem kontrol akses, misalnya kunci pintu elektronik. Sehingga, secara teoretis *MFRC522* mendukung mekanisme *identity-based access* berbasis kartu pada lingkungan sekolah (Prakoso dkk., 2024).

Pada konteks presensi berbasis *IoT*, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi *ESP32* dan *RFID MFRC522* dapat digunakan untuk membaca UID dan menyinkronkan hasilnya ke *backend* aplikasi *web* secara *real time*, sehingga alur presensi tidak berhenti di perangkat, tetapi langsung menjadi data sistem (Agustana dan Yudistira, 2025). Studi lain yang menggabungkan presensi *RFID* dengan kanal notifikasi menguatkan bahwa *RFID reader* yang dipasangkan dengan mikrokontroler berjejaring dapat memperluas manfaat presensi menjadi informasi yang cepat diteruskan ke pengguna (Darmi dkk., 2025). Implementasi pada jurnal yang mengombinasikan *RFID RC522* dan *ESP32* dalam alur monitoring berbasis *web* menunjukkan kelayakan perangkat ini sebagai bagian dari sistem presensi terintegrasi yang menuntut *dashboard* dan pembaruan status secara aktual. (Nugraha dkk., 2025).

Penelitian Sathishkumar dkk. (2025) membuktikan bahwa penerapan sistem presensi berbasis *RFID* dapat meningkatkan akurasi pencatatan hingga 98%. Selain itu, Sihombing dkk. (2019) menunjukkan bahwa penggunaan *RFID* yang diintegrasikan dengan *IoT* mampu mempercepat waktu pencatatan dari rata-rata 200 detik per kelas dengan 50 murid menjadi kurang dari 40 detik. Hal ini menunjukkan bahwa *RFID* tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mendukung penerapan *real time attendance monitoring*.

2.2.4. *ESP32* sebagai Mikrokontroler *IoT*

ESP32 merupakan *system-on-chip (SoC)* yang dirancang khusus untuk *prototype IoT* dengan dukungan konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth*. Dibandingkan dengan mikrokontroler konvensional seperti *Arduino UNO*, *ESP32* memiliki prosesor *dual-core*, *RAM* lebih besar, serta fitur bawaan seperti touch sensor dan modul keamanan, sehingga lebih unggul untuk aplikasi presensi berbasis *IoT*.

Dalam penelitian berbasis presensi, *ESP32* berperan sebagai unit pengendali utama yang menghubungkan *perception layer (RFID reader)* dengan *application layer (SILAKAN)*. *ESP32* membaca data *ID* dari kartu *RFID* melalui modul *MFRC522*, menampilkannya pada *LCD I2C* sebagai umpan balik, lalu mengirim data tersebut ke server melalui protokol *HTTP* atau *MQTT*. Penelitian

Fezari dkk. (2019) menunjukkan bahwa *ESP32* lebih efisien dibandingkan *NodeMCU ESP8266* karena mendukung lebih banyak pin (*General Purpose Input/Output*) dan stabilitas koneksi yang lebih baik.

Model komunikasi data berbasis *API* adalah metode umum untuk integrasi *ESP32* dengan SIS. Menurut Rahman dkk. (2020), *ESP32* dapat mengirim data dalam format *JSON* menggunakan metode *HTTP POST*, yang kemudian diproses oleh server berbasis *PHP/MySQL*. Pendekatan ini memudahkan sinkronisasi *real time* dan kompatibilitas dengan *framework* web modern seperti *Laravel* yang digunakan dalam SILAKAN.

Dari sisi penelitian, *ESP32* sangat mendukung metode prototyping. Studi Singh dkk. (2022) menggunakan *ESP32* untuk membangun sistem presensi *real time* dengan integrasi *Google Sheets*, membuktikan fleksibilitas perangkat ini dalam mendukung eksperimen cepat dan iteratif. Hal ini sejalan dengan metode penelitian yang digunakan dalam tesis ini, di mana *ESP32* menjadi komponen kunci dalam siklus pengembangan, pengujian, dan penyempurnaan sistem.

2.2.5. *LCD I2C 16×2* sebagai Antarmuka

LCD I2C 16×2 merupakan perangkat tampilan sederhana yang digunakan untuk memberikan umpan balik visual kepada pengguna. Layar ini mampu menampilkan dua baris teks dengan masing-masing 16 karakter. Protokol *I2C (Inter-Integrated Circuit)* memungkinkan komunikasi hanya dengan dua jalur utama (*SDA* dan *SCL*), sehingga menghemat pin mikrokontroler. Dalam sistem presensi, *LCD* digunakan untuk menampilkan status pembacaan kartu *RFID*, validasi data, serta notifikasi sederhana seperti “Presensi Berhasil” atau “Kartu Tidak Dikenal”.

Menurut Dix dkk. (2020), teori *Human-Computer Interaction (HCI)* menekankan pentingnya *feedback* yang jelas dalam antarmuka sistem. Umpan balik visual mempercepat pemahaman pengguna dan mengurangi potensi kesalahan operasional. Pada konteks sekolah, keberadaan *LCD* dapat membantu guru atau murid mengetahui secara langsung apakah kartu *RFID* sudah terbaca dengan benar sebelum data dikirim ke *server*.

Studi Bharathy dkk. (2021) menunjukkan bahwa integrasi *LCD* dengan *ESP32* dalam sistem presensi meningkatkan usability score karena pengguna merasa lebih yakin terhadap keberhasilan proses. Selain itu, Setiawan dan Pramono (2018) menekankan bahwa perangkat antarmuka sederhana seperti *LCD* dapat meningkatkan penerimaan teknologi di sekolah karena tidak menuntut keterampilan teknis yang tinggi.

Keterkaitan *LCD* dengan metode prototyping juga signifikan. Selama pengembangan, *LCD* berfungsi sebagai indikator keberhasilan komunikasi antar modul (*RFID-ESP32-Server*). Hal ini membantu peneliti melakukan debugging secara cepat. Dengan demikian, meskipun sederhana, *LCD I2C 16×2* memiliki peran penting dalam mendukung keberhasilan integrasi *IoT* dengan *SILAKAN*.

2.2.6. Modul *Buzzer*

Modul *buzzer* berfungsi sebagai indikator auditori yang langsung memberi tahu pengguna bahwa proses pembacaan/rekam data sedang atau sudah terjadi, sementara *LCD* menampilkan informasi presensi secara *real time* sebagai umpan balik visual (Jamil dan Nasution, 2025). Dalam rancangan presensi berbasis *IoT*, *buzzer* juga digunakan untuk memberi notifikasi keberhasilan maupun kegagalan proses presensi, sehingga pengguna tidak perlu menebak status sistem hanya dari tampilan aplikasi (Muzakir dan Hendri, 2025). Di lingkungan operasional seperti kelas, umpan balik “OK” pada *LCD* yang disertai bunyi *buzzer* dilaporkan menyederhanakan alur presensi karena menandai bahwa data sudah tersimpan tanpa menambah langkah interaksi (Arpan dan Yusup, 2024). Pada rancang bangun presensi berbasis *ESP32*, *buzzer* juga lazim dipasang bersama *RFID reader* dan *LCD*, dan *LCD* digunakan untuk menampilkan pesan berbeda ketika *UID* terdaftar atau tidak terdaftar, sehingga bunyi *buzzer* berperan melengkapi informasi status secara cepat (Prasetyo dkk., 2022).

Desain perangkat presensi otomatis yang memadukan modul *RFID* dengan mikrokontroler juga memasukkan *buzzer* sebagai antarmuka sederhana yang dapat dipicu oleh logika sistem tanpa menambah kompleksitas *UI*, sehingga cocok untuk skenario “*tap-and-go*” di sekolah (Kahar dan Thamrin, 2025).

Secara teknis, *buzzer* mengubah tegangan listrik menjadi gelombang bunyi pada kisaran 1–5 KHz dan sering dipilih karena relatif murah dan mudah diaplikasikan dalam rangkaian, sehingga sesuai untuk perangkat *IoT* sekolah yang menuntut biaya rendah dan perakitan praktis (Nashori dkk., 2024).

Dari perspektif interaksi manusia–komputer, penambahan umpan balik audio yang jelas pada antarmuka terbukti dapat menurunkan beban subjektif dan mempercepat pemulihan kesalahan, sehingga *audio cue* relevan untuk mengurangi *error* ketika pengguna melakukan pemindaian kartu secara cepat (Brewster dkk., 1996). Dalam praktik pemindaian *RFID* pada sistem operasional, bunyi *beep* digunakan sebagai konfirmasi pemindaian berhasil, yang menegaskan pentingnya umpan balik auditori saat pengguna tidak selalu fokus menatap layar (Abraham dkk., 2024).

Contoh implementasi *IoT* lain memperlihatkan perbedaan *beep* pendek untuk kondisi diterima dan *beep* panjang untuk kondisi ditolak, yang dapat diadaptasi pada presensi untuk membedakan *UID* valid dan tidak valid tanpa harus membaca teks pada *LCD* (Kaim dkk., 2025). Dengan demikian, pemilihan *buzzer* sebagai perangkat antarmuka pada penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan karena literatur presensi *RFID* menunjukkan *buzzer* memberi umpan balik instan melalui sinyal audio yang mendukung proses presensi yang cepat, jelas, dan mudah digunakan di lingkungan sekolah (Palaskar dkk., 2025).

2.2.7. Integrasi Sistem Informasi dengan *IoT*

Integrasi sistem merupakan proses menghubungkan berbagai subsistem agar dapat beroperasi sebagai satu kesatuan (Akbar dkk., 2023). Dalam penelitian ini, integrasi dilakukan antara perangkat *IoT* (*ESP32*, *RFID*, *LCD*) dengan SILAKAN sebagai sistem informasi layanan pendidikan. Prinsip integrasi memastikan bahwa data yang dihasilkan perangkat *IoT* langsung masuk ke dalam basis data SILAKAN tanpa melalui entri manual, sehingga meningkatkan efisiensi administrasi sekolah.

Model integrasi umum terdiri atas *edge device* >> *middleware/API* >> *server* >> aplikasi. Li dkk. (2022) menyebutkan bahwa *middleware* berfungsi

sebagai jembatan komunikasi data, yang menangani autentikasi, normalisasi, dan *error handling*. Dalam konteks SILAKAN, API berbasis PHP/MySQL akan menerima data presensi dari ESP32, kemudian menyimpannya ke dalam database. Data ini selanjutnya dapat diakses oleh guru, murid, dan wali murid secara *real time*.

Praktik terbaik integrasi IoT dengan EMIS ditunjukkan oleh Sarji dkk., (2022), yang membangun sistem absensi terhubung web server dan menghasilkan pengurangan kesalahan pencatatan hingga rasio kesalahan hanya 1.5%. Penelitian serupa oleh Mazlan dan Ahmad (2025) pada sekolah menengah di Malaysia juga membuktikan bahwa integrasi RFID–IoT dengan *cloud-based EMIS* meningkatkan transparansi data dan kepuasan pengguna.

Metodologi penelitian *prototyping* sangat cocok untuk konteks integrasi, karena memungkinkan penyesuaian cepat terhadap masukan pengguna. Andrean dkk. (2025) menegaskan bahwa uji coba lapangan sistem IoT perlu melibatkan evaluasi kegunaan (*usability*) agar sistem benar-benar dapat diadopsi sekolah. Dengan demikian, integrasi IoT–SILAKAN bukan hanya sekadar aspek teknis, tetapi juga mencakup harmonisasi proses bisnis sekolah, validasi identitas murid, serta keterlibatan wali murid dalam ekosistem pendidikan digital.

2.2.8. Blackbox Testing

Blackbox Testing merupakan salah satu metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada evaluasi fungsionalitas sistem tanpa memperhatikan struktur internal atau kode program yang digunakan. Menurut Pressman dan Maxim (2020), pengujian *blackbox* bertujuan untuk menentukan apakah sistem berfungsi sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Pendekatan ini memungkinkan penguji untuk menilai keluaran sistem berdasarkan masukan yang diberikan, tanpa perlu memahami bagaimana proses internal menghasilkan keluaran tersebut.

Dalam konteks pengembangan sistem berbasis IoT dan web, seperti integrasi ESP32–RFID dengan SILAKAN, metode *blackbox* digunakan untuk memastikan bahwa setiap modul berfungsi sesuai tujuan fungsionalnya. Hal ini mencakup pengujian pada sisi perangkat keras (*hardware testing*) maupun

perangkat lunak (*software testing*) untuk menilai keakuratan hasil pembacaan *UID* dari kartu *RFID*, kecepatan respons sistem, keandalan komunikasi data, serta konsistensi sinkronisasi ke basis data *SILAKAN*.

Menurut Myers dkk. (2011), pengujian *blackbox* memiliki beberapa karakteristik utama:

1. Berbasis spesifikasi fungsional, yaitu semua pengujian dilakukan dengan mengacu pada dokumen kebutuhan sistem (*requirement specification*).
2. Independen terhadap kode sumber, sehingga pengujian dapat dilakukan bahkan tanpa akses terhadap algoritma atau struktur program.
3. Berorientasi pada output, di mana fokus utama adalah membandingkan hasil aktual dengan hasil yang diharapkan dari setiap kasus uji (*test case*).

Metode ini memiliki keunggulan karena dapat digunakan untuk mendeteksi kesalahan pada fungsi utama sistem, antarmuka pengguna, kesalahan input/output, serta kesalahan komunikasi antar-modul. Namun, sebagaimana diungkapkan oleh Althunayyan dkk. (2022), kelemahan utama dari pengujian *blackbox* adalah ketidakmampuannya mengidentifikasi kesalahan logika internal, struktur data, dan algoritma program.

Hasil dari pengujian *blackbox* pada penelitian ini menjadi dasar penilaian rasio keberhasilan sistem, yang digunakan untuk menentukan kesiapan sistem menuju tahap uji keberterimaan pengguna (*UTAUT2*). Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Shrivastava dkk. (2023) dan Mazlan dan Ahmad (2025) yang menggunakan pengujian *blackbox* untuk menilai performa sistem presensi *IoT* berbasis *ESP32* dan *RFID* dalam konteks pendidikan.

Dengan demikian, *Blackbox Testing* tidak hanya berfungsi sebagai metode verifikasi fungsionalitas, tetapi juga sebagai instrumen evaluasi reliabilitas sistem dalam penelitian berbasis integrasi *IoT* dan sistem informasi. Melalui pengujian ini, peneliti dapat memastikan bahwa sistem memenuhi kebutuhan pengguna tanpa kesalahan logika operasional, sehingga hasil penelitian memiliki validitas teknis yang kuat dan dapat diterapkan di lingkungan sekolah nyata.

2.2.9. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT2)*

UTAUT2 merupakan model teoritis yang digunakan untuk menjelaskan perilaku penerimaan dan penggunaan teknologi informasi oleh individu. Model ini dikembangkan oleh Venkatesh, Thong, dan Xu (2012) sebagai penyempurnaan dari model *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)* yang diperkenalkan pada tahun 2003. Jika *UTAUT* berfokus pada konteks organisasi dan pengguna profesional, maka *UTAUT2* memperluas konteksnya ke ranah konsumen dan pengguna umum, sehingga lebih relevan untuk penelitian yang melibatkan murid, guru, dan masyarakat umum dalam penerapan sistem berbasis teknologi.

Menurut Venkatesh dkk. (2012), *UTAUT2* terdiri dari tujuh konstruk utama yang mempengaruhi niat perilaku/*Behavioral Intention(BI)* dan perilaku penggunaan aktual/*Use Behavior(UB)* terhadap teknologi, yaitu:

1. *Performance Expectancy (PE)* merupakan sejauh mana pengguna percaya bahwa penggunaan sistem akan meningkatkan kinerja atau produktivitas mereka. Dalam konteks penelitian ini, konstruk ini mencerminkan keyakinan guru, murid, dan administrator bahwa sistem *IoT-SILAKAN* dapat meningkatkan efisiensi pencatatan presensi dan keakuratan data akademik.
2. *Effort Expectancy (EE)* dijelaskan sebagai tingkat kemudahan yang dirasakan dalam menggunakan sistem. Konstruk ini berhubungan dengan kemudahan antarmuka, kesederhanaan penggunaan perangkat *RFID*, serta kemudahan akses sistem *SILAKAN* melalui web atau mobile.
3. *Social Influence (SI)* adalah tingkat sejauh mana individu merasa bahwa orang lain mengharapkan mereka menggunakan sistem tersebut. Dalam konteks sekolah, dukungan dari pihak administrasi dan rekan kerja sangat berpengaruh terhadap tingkat adopsi teknologi baru.
4. *Facilitating Conditions (FC)* adalah persepsi individu mengenai ketersediaan sumber daya dan dukungan teknis yang memungkinkan mereka menggunakan sistem. Misalnya, ketersediaan jaringan *WiFi*, perangkat *RFID*, dan dukungan teknis dari tim pengembang *SILAKAN*.
5. *Hedonic Motivation (HM)* adalah kesenangan atau kepuasan yang diperoleh pengguna ketika menggunakan sistem. Dalam sistem pendidikan digital,

motivasi ini dapat muncul ketika pengguna merasa sistemnya interaktif, modern, dan memberikan pengalaman positif.

6. *Price Value (PV)* adalah persepsi perbandingan antara manfaat yang diperoleh dengan biaya yang dikeluarkan untuk menggunakan sistem. Meskipun pada konteks sekolah biaya ditanggung institusi, konstruk ini tetap relevan untuk mengukur efisiensi sumber daya dan manfaat institusional dari penerapan teknologi.
7. *Habit (HT)* adalah tingkat kecenderungan pengguna untuk menggunakan teknologi secara otomatis karena sudah terbiasa. Semakin sering pengguna berinteraksi dengan sistem presensi berbasis *IoT*, semakin kuat kebiasaan mereka dalam menggunakannya sehari-hari.

Ketujuh konstruk tersebut dihubungkan secara struktural dalam model *UTAUT2*. *Performance expectancy*, *effort expectancy*, *social influence*, *facilitating conditions*, *hedonic motivation*, *price value*, dan *habit* memengaruhi *behavioral intention*, sedangkan *behavioral intention* dan *facilitating conditions* berpengaruh langsung terhadap *use behavior* atau perilaku aktual pengguna (Venkatesh dkk., 2012; Dwivedi dkk., 2020).

2.2.10. *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*

PLS-SEM merupakan pendekatan statistik berbasis varian (*variance-based SEM*) yang pertama kali diperkenalkan oleh Herman Wold (1982). Berbeda dengan *Covariance Based Structural Equation Model CB-SEM* yang berfokus pada reproduksi kovarians, *PLS-SEM* berorientasi pada maksimalisasi varians konstruk endogen untuk meningkatkan kemampuan prediktif model.

Prinsip utama dari *PLS-SEM* adalah melakukan estimasi hubungan antarvariabel laten dengan meminimalkan error residual dan memaksimalkan varian yang dapat dijelaskan (*explained variance*). Dengan kata lain, *PLS-SEM* digunakan bukan untuk mengukur seberapa baik model cocok dengan data, tetapi seberapa besar model mampu menjelaskan hubungan antarvariabel yang diteliti (Henseler dkk., 2016).

Dalam konteks penelitian ini, *PLS-SEM* digunakan untuk menguji model penerimaan pengguna terhadap sistem integrasi *IoT-SILAKAN* berdasarkan konstruk *UTAUT2*, seperti *Performance Expectancy*, *Effort Expectancy*, *Social Influence*, *Facilitating Conditions*, *Hedonic Motivation*, *Price Value*, *Habit*, *Behavioral Intention*, dan *Use Behavior*.

Pendekatan ini sesuai karena data diperoleh dari pengguna (guru, murid, dan staf sekolah) yang jumlahnya relatif terbatas, dan karena penelitian ini bersifat prediktif dan eksploratif, yaitu untuk memahami faktor-faktor yang mendorong adopsi sistem presensi berbasis *IoT* di lingkungan pendidikan.

Menurut Hair Jr. dkk. (2021), analisis menggunakan *PLS-SEM* dilakukan melalui dua tahap utama: evaluasi model pengukuran (*outer model*) dan evaluasi model struktural (*inner model*). Model pengukuran menjelaskan hubungan antara konstruk laten dengan indikator teramati, sedangkan model struktural menjelaskan hubungan kausal antara konstruk laten satu dengan lainnya. Sedangkan model struktural menjelaskan hubungan kausal antar konstruk laten eksogen dan endogen.

PLS-SEM digunakan dalam penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan yang relevan dengan konteks penerimaan teknologi *IoT-SILAKAN* di lingkungan sekolah. Alasan yang pertama adalah tidak memerlukan asumsi distribusi data normal. Selanjutnya *PLS-SEM* dapat digunakan untuk ukuran sampel kecil hingga efektif untuk data $n < 200$. Kecocokan *PLS-SEM* untuk model kompleks dengan banyak konstruk dan indikator juga menjadi alasan *PLS-SEM* digunakan dalam penelitian ini.