

**PENGEMBANGAN SMART LEARNING ENVIRONMENT BERBASIS INTERNET
OF THINGS UNTUK MENDUKUNG KENYAMANAN, KOLABORASI,
DAN INTEGRITAS PEMBELAJARAN**

Tiara Finda Apriola¹, Ardian Syach Putra Wicaksana²,
Krisna Harsyandi Saputra³, Sugiono⁴
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
tiarafinda35@gmail.com

ABSTRACT

The rapid advancement of information and communication technology has accelerated the transformation of conventional learning into a more adaptive, interactive, and integrated digital learning environment. This study aims to design, develop, and evaluate an Internet of Things (IoT)-based Smart Learning Environment that integrates classroom environmental monitoring, a collaborative learning platform through a Virtual Board, and an intelligent online examination proctoring system based on Computer Vision and browser activity monitoring within a single platform. This research employed a Research and Development (R&D) approach, consisting of system requirements analysis, design, implementation, testing, and evaluation stages. The proposed system utilizes IoT devices to monitor classroom environmental conditions in real time, web-based technology to facilitate multi-user collaborative learning via a Virtual Board, and Artificial Intelligence with webcam-based Computer Vision to detect suspicious behaviors during online examinations. Real-time communication between hardware devices, the server, and the web application enables seamless integration among all subsystems. System evaluation was conducted through functionality testing, real-time data communication testing, subsystem integration testing, and overall performance evaluation. The results demonstrate that the proposed system effectively monitors classroom environmental conditions in real time, supports collaborative digital learning, and enhances examination integrity through user behavior detection and browser activity monitoring. The integration of these technologies into a unified platform contributes to improving learning comfort, instructional effectiveness, energy efficiency, and the integrity of digital assessment processes, while supporting the implementation of a Smart Campus ecosystem.

Keywords: *Smart Learning Environment; Internet of Things; Virtual Board; Computer Vision; Browser Monitoring; Smart Campus.*

ABSTRAK

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi mendorong transformasi sistem pembelajaran menuju lingkungan belajar digital yang lebih adaptif, interaktif, dan terintegrasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan

mengevaluasi Smart Learning Environment berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sistem monitoring lingkungan kelas, media pembelajaran kolaboratif berbasis Virtual Board, serta sistem pengawasan ujian berbasis Computer Vision dan monitoring aktivitas browser dalam satu platform. Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan metode pengembangan sistem yang meliputi tahap analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi sistem. Sistem dikembangkan menggunakan perangkat IoT untuk memantau kondisi lingkungan kelas secara real-time, teknologi web untuk mendukung kolaborasi multi-pengguna melalui Virtual Board, serta teknologi Artificial Intelligence berbasis webcam untuk mendeteksi aktivitas peserta ujian yang berpotensi mengindikasikan kecurangan. Komunikasi data antara perangkat keras, server, dan aplikasi web dilakukan secara real-time sehingga seluruh subsistem dapat bekerja secara terintegrasi. Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian fungsionalitas, komunikasi data, integrasi antar subsistem, dan performa sistem secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan kelas secara real-time, mendukung pembelajaran kolaboratif berbasis digital, serta meningkatkan efektivitas pengawasan ujian melalui deteksi aktivitas pengguna dan monitoring browser. Integrasi seluruh komponen dalam satu platform memberikan kontribusi terhadap peningkatan kenyamanan lingkungan belajar, efektivitas proses pembelajaran, efisiensi penggunaan energi, serta integritas pelaksanaan evaluasi pembelajaran berbasis digital.

Kata Kunci: Smart Learning Environment; Internet of Things; Virtual Board; Computer Vision; Monitoring Browser; Smart Campus.

A. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk pada bidang pendidikan. Proses pembelajaran yang sebelumnya dilakukan secara konvensional kini berkembang menuju pembelajaran digital yang memanfaatkan berbagai teknologi untuk meningkatkan kualitas, efektivitas, dan efisiensi kegiatan

belajar mengajar. Transformasi tersebut mendorong institusi pendidikan untuk mengadopsi berbagai inovasi berbasis teknologi agar mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih adaptif terhadap kebutuhan peserta didik maupun tenaga pendidik.

Salah satu teknologi yang berkembang sangat pesat adalah Internet of Things (IoT). Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat elektronik saling terhubung melalui

jaringan internet sehingga mampu melakukan proses pengumpulan data, komunikasi, monitoring, serta pengendalian perangkat secara otomatis. Pemanfaatan IoT pada sektor pendidikan tidak hanya digunakan sebagai media monitoring, tetapi juga mulai diterapkan untuk mendukung terciptanya ruang kelas yang cerdas (Smart Classroom), media pembelajaran kolaboratif berbasis digital, hingga sistem pengawasan pelaksanaan ujian secara otomatis.

Konsep Smart Learning Environment merupakan pengembangan dari sistem pembelajaran konvensional menuju lingkungan belajar yang mampu beradaptasi dengan kondisi pengguna melalui pemanfaatan teknologi digital. Smart Learning Environment tidak hanya berfokus pada penyediaan media pembelajaran, tetapi juga memperhatikan kondisi lingkungan fisik ruang kelas, aktivitas pembelajaran, interaksi antar pengguna, serta keamanan selama proses evaluasi pembelajaran berlangsung. Dengan demikian, lingkungan belajar tidak hanya menjadi lebih nyaman, tetapi juga mampu meningkatkan efektivitas

proses belajar mengajar secara keseluruhan.

Salah satu aspek penting dalam Smart Learning Environment adalah kenyamanan lingkungan belajar. Kondisi ruang kelas yang memiliki suhu terlalu tinggi, pencahayaan yang kurang memadai, kelembapan yang tidak sesuai, tingkat kebisingan yang tinggi, maupun kurangnya sirkulasi udara dapat menurunkan tingkat konsentrasi peserta didik. Kondisi tersebut secara tidak langsung memengaruhi produktivitas pembelajaran serta kenyamanan pengguna selama berada di dalam ruang kelas. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan secara real-time sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi aktual yang terjadi.

Selain faktor kenyamanan lingkungan, perkembangan teknologi juga mendorong munculnya metode pembelajaran kolaboratif berbasis digital. Pembelajaran kolaboratif memungkinkan peserta didik untuk bekerja sama dalam menyelesaikan suatu permasalahan melalui media digital yang dapat diakses secara

bersamaan dari berbagai perangkat. Salah satu implementasi yang berkembang adalah penggunaan Virtual Board, yaitu papan tulis digital yang memungkinkan banyak pengguna melakukan penulisan, penggambaran, maupun penyampaian ide secara real-time tanpa dibatasi oleh lokasi maupun perangkat yang digunakan. Teknologi ini menjadi salah satu solusi untuk mendukung pembelajaran aktif, diskusi kelompok, maupun pembelajaran jarak jauh yang semakin berkembang pada era digital.

Di sisi lain, meningkatnya penggunaan sistem pembelajaran berbasis daring juga menimbulkan tantangan baru, terutama dalam pelaksanaan evaluasi pembelajaran. Pelaksanaan ujian secara online memberikan fleksibilitas bagi peserta didik, namun juga meningkatkan potensi terjadinya kecurangan akademik. Bentuk kecurangan yang sering ditemukan antara lain perpindahan tab browser, penggunaan aplikasi lain selama ujian, melihat sumber informasi di luar layar, hingga kerja sama dengan pihak lain tanpa sepengetahuan pengawas. Apabila tidak dilakukan pengawasan secara efektif, maka

hasil evaluasi yang diperoleh tidak lagi mencerminkan kemampuan peserta didik secara objektif.

Perkembangan teknologi Computer Vision, Artificial Intelligence (AI), serta monitoring aktivitas browser memberikan peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut. Melalui pemanfaatan webcam, sistem mampu mendeteksi arah pandangan pengguna, pergerakan kepala, maupun aktivitas mencurigakan lainnya menggunakan metode head pose estimation. Selain itu, monitoring aktivitas browser memungkinkan sistem mendeteksi perpindahan tab, perubahan fokus jendela, maupun aktivitas digital lain yang berpotensi mengindikasikan terjadinya kecurangan selama pelaksanaan ujian. Integrasi kedua teknologi tersebut mampu meningkatkan integritas pelaksanaan evaluasi pembelajaran secara lebih efektif dibandingkan metode pengawasan konvensional.

Berdasarkan berbagai perkembangan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu mengintegrasikan berbagai teknologi ke dalam satu lingkungan pembelajaran yang saling terhubung. Sistem ini tidak hanya berfungsi untuk

memantau kondisi lingkungan ruang kelas, tetapi juga menyediakan media pembelajaran kolaboratif serta sistem pengawasan evaluasi pembelajaran dalam satu platform terpadu. Integrasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan kenyamanan belajar, efektivitas pembelajaran, efisiensi penggunaan energi, serta menjaga integritas akademik selama proses pembelajaran berlangsung.

Konsep Smart Learning Environment yang terintegrasi juga mendukung implementasi Smart Campus, yaitu lingkungan kampus yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan kualitas layanan pendidikan. Seluruh data yang diperoleh dari berbagai perangkat dapat dikumpulkan dalam satu dashboard terpusat sehingga memudahkan dosen maupun pengelola institusi dalam melakukan monitoring, pengambilan keputusan, serta evaluasi terhadap proses pembelajaran secara menyeluruh. Dengan adanya sistem yang terintegrasi, berbagai aspek pembelajaran dapat dikelola secara lebih efektif sehingga mampu mendukung terciptanya ekosistem pendidikan yang modern, adaptif, dan berkelanjutan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana merancang Smart Learning Environment berbasis Internet of Things yang mampu mengintegrasikan sistem monitoring lingkungan kelas, media pembelajaran kolaboratif, serta sistem pengawasan ujian dalam satu platform?
- b. Bagaimana mengimplementasikan komunikasi data secara real-time antara perangkat keras, server, dan aplikasi berbasis web sehingga seluruh sistem dapat bekerja secara terintegrasi?
- c. Bagaimana mengevaluasi performa sistem dalam meningkatkan kenyamanan lingkungan belajar, efektivitas pembelajaran kolaboratif, serta integritas pelaksanaan ujian berbasis digital?

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Merancang dan mengembangkan Smart Learning Environment berbasis

Internet of Things yang mampu mengintegrasikan berbagai teknologi pembelajaran ke dalam satu sistem.

b. Mengembangkan sistem monitoring lingkungan ruang kelas yang mampu melakukan pengendalian perangkat secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan.

c. Mengembangkan media pembelajaran kolaboratif berbasis Virtual Board yang mendukung interaksi multi-user secara real-time.

Mengembangkan sistem pengawasan ujian berbasis webcam dan monitoring aktivitas browser untuk meningkatkan integritas pelaksanaan evaluasi pembelajaran.

Mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan melalui pengujian fungsionalitas, komunikasi data, dan integrasi antar subsistem.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Manfaat Akademis

Menjadi referensi dalam pengembangan Smart Learning Environment berbasis Internet of Things yang mengintegrasikan monitoring lingkungan, pembelajaran

kolaboratif, dan pengawasan evaluasi pembelajaran.

2. Manfaat Praktis

Membantu institusi pendidikan dalam meningkatkan kenyamanan ruang kelas, efektivitas proses pembelajaran, efisiensi penggunaan energi, serta menjaga integritas pelaksanaan ujian berbasis digital.

3. Manfaat Teknologis

Memberikan gambaran mengenai implementasi integrasi Internet of Things, Artificial Intelligence, Computer Vision, Cloud Computing, dan teknologi web modern dalam mendukung digitalisasi pendidikan.

B. Metode Penelitian

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode **Research and Development (R&D)** dengan pendekatan rekayasa sistem (*System Engineering*). Pendekatan tersebut dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan menghasilkan konsep, tetapi juga mengembangkan sebuah sistem yang dapat diimplementasikan secara langsung sebagai pendukung proses pembelajaran.

Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan

sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi seluruh subsistem, pengujian fungsional, serta evaluasi kinerja sistem. Seluruh tahapan dilakukan secara bertahap sehingga setiap modul dapat diuji sebelum diintegrasikan ke dalam sistem secara keseluruhan.

Metode ini memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara sistematis sehingga menghasilkan Smart Learning Environment yang mampu mendukung kenyamanan ruang kelas, pembelajaran kolaboratif, dan integritas evaluasi pembelajaran.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian terdiri atas beberapa proses utama yang saling berkaitan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar Alur Penelitian.

Tahapan penelitian meliputi:

1. Identifikasi kebutuhan sistem.
2. Analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak.
3. Perancangan arsitektur sistem.
4. Implementasi perangkat keras.
5. Implementasi perangkat lunak.
6. Integrasi seluruh modul.
7. Pengujian sistem.
8. Evaluasi hasil implementasi.

Tahapan tersebut dilakukan secara berurutan sehingga setiap

proses dapat menjadi dasar bagi proses berikutnya.

Analisis Kebutuhan Sistem

Pengembangan Smart Learning Environment membutuhkan integrasi beberapa komponen yang saling berhubungan. Sistem dirancang agar mampu melakukan monitoring kondisi ruang kelas, menyediakan media pembelajaran kolaboratif, serta melakukan pengawasan selama pelaksanaan ujian berbasis digital.

Kebutuhan sistem dibagi menjadi dua kelompok utama yaitu kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak.

Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan terdiri atas beberapa komponen utama sebagai berikut.

No	Perangkat	Fungsi
1	ESP32-S3	Mikrokontroler utama sistem
2	Sensor DHT22	Monitoring suhu dan kelembapan
3	Sensor PIR	Deteksi keberadaan pengguna
4	Sensor LDR	Monitoring intensitas cahaya
5	Sensor Suara	Monitoring tingkat kebisingan
6	Relay	Mengendalikan lampu
7	Infrared Transmitter	Mengendalikan Air Conditioner
8	LCD I2C	Menampilkan informasi lokal
9	Router WiFi	Komunikasi data
10	Webcam	Monitoring aktivitas ujian
11	IR Touch Frame	Interaksi Virtual Board

Seluruh perangkat tersebut dihubungkan menjadi satu sistem yang saling bertukar data melalui jaringan internet.

Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan meliputi:

Arduino IDE ,Visual Studio Code,Node.js,Express.js ,Python,JavaScript,HTML,CSS,MySQL ,Blynk Cloud ,WebSocket ,Browser Google Chrome

Penggunaan berbagai perangkat lunak tersebut bertujuan mendukung komunikasi data secara real-time serta pengembangan dashboard berbasis web.

Perancangan Arsitektur Sistem

Smart Learning Environment dirancang sebagai sistem yang terdiri atas tiga subsistem utama yang saling terhubung.

Subsistem pertama adalah **Smart Classroom**, yang bertugas memonitor kondisi lingkungan ruang kelas.

Subsistem kedua adalah **Virtual Board**, yang digunakan sebagai media pembelajaran kolaboratif.

Subsistem ketiga adalah **Monitoring Ujian**, yang digunakan untuk menjaga integritas pelaksanaan evaluasi pembelajaran.

Ketiga subsistem tersebut dihubungkan melalui jaringan internet sehingga seluruh informasi dapat dipusatkan dalam satu dashboard monitoring.

Arsitektur Smart Classroom

Smart Classroom bertugas memperoleh data lingkungan secara real-time.

Sensor yang digunakan meliputi:

Sensor suhu ,Sensor kelembapan ,Sensor cahaya ,Sensor suara,Sensor gerak

Data dari seluruh sensor diproses oleh ESP32-S3 kemudian dikirim menuju server melalui jaringan WiFi.

Berdasarkan hasil pembacaan sensor, sistem akan melakukan beberapa tindakan otomatis seperti:

menyalakan lampu apabila intensitas cahaya rendah,

mengendalikan Air Conditioner apabila suhu melebihi batas kenyamanan,

menampilkan kondisi ruang kelas pada LCD,

mengirimkan data menuju dashboard monitoring.

Dengan mekanisme tersebut kondisi ruang kelas selalu berada pada tingkat kenyamanan yang diharapkan.

Arsitektur Virtual Board

Virtual Board dikembangkan menggunakan arsitektur client-server. Setiap pengguna yang terhubung ke jaringan dapat mengakses papan tulis digital melalui browser.

Seluruh aktivitas seperti:
menulis,
menggambar,
menghapus,
membuat anotasi,
langsung dikirim menuju server
menggunakan WebSocket.

Server kemudian mendistribusikan perubahan tersebut kepada seluruh pengguna sehingga tampilan papan tulis selalu sama pada setiap perangkat.

Pendekatan ini memungkinkan proses pembelajaran kolaboratif dilakukan secara real-time tanpa keterlambatan yang berarti.

Arsitektur Monitoring Ujian

Sistem pengawasan ujian terdiri atas dua mekanisme utama.

Monitoring Visual

Monitoring visual dilakukan menggunakan webcam.

Video yang diperoleh diproses menggunakan Computer Vision untuk mengetahui:

arah pandangan peserta,
posisi kepala,
gerakan kepala,
aktivitas mencurigakan.

Apabila peserta sering melihat ke arah lain, sistem memberikan peringatan kepada pengawas.

Monitoring Aktivitas Browser

Selain webcam, sistem juga mengamati aktivitas browser.

Aktivitas yang direkam meliputi:
perpindahan tab,
perubahan fokus,
membuka aplikasi lain,
keluar dari halaman ujian.

Seluruh aktivitas dicatat ke dalam database sehingga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi oleh pengawas.

Integrasi Sistem

Setelah seluruh subsistem selesai dikembangkan, tahap berikutnya adalah integrasi.

Integrasi dilakukan melalui server pusat sehingga seluruh data berada dalam satu platform.

Alur komunikasi sistem adalah sebagai berikut.

1. Sensor memperoleh data lingkungan.
2. ESP32 mengirimkan data menuju server.
3. Dashboard menerima data sensor.
4. Dashboard menampilkan kondisi ruang kelas.
5. Virtual Board menerima koneksi pengguna.
6. Server melakukan sinkronisasi seluruh aktivitas pengguna.

7. Webcam mengirimkan video menuju modul Computer Vision.
8. Sistem mendeteksi aktivitas peserta ujian.
9. Hasil deteksi disimpan ke database.
10. Pengawas memperoleh laporan secara real-time.

Melalui mekanisme tersebut seluruh sistem dapat bekerja secara bersamaan tanpa saling mengganggu.

Mekanisme Kerja Sistem

Secara umum mekanisme kerja Smart Learning Environment dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tahap pertama dimulai ketika sistem aktif.

ESP32 melakukan pembacaan seluruh sensor secara berkala.

Data kemudian dikirim menuju server. Server menyimpan seluruh informasi ke database.

Dashboard menampilkan kondisi terbaru kepada pengguna.

Pada waktu yang sama Virtual Board melakukan sinkronisasi seluruh aktivitas pengguna.

Apabila sistem digunakan untuk ujian, webcam dan browser monitoring akan aktif secara otomatis.

Seluruh aktivitas peserta dianalisis menggunakan Computer Vision.

Apabila ditemukan aktivitas mencurigakan, sistem memberikan notifikasi kepada pengawas.

Seluruh proses berlangsung secara real-time sehingga pengguna memperoleh informasi tanpa harus melakukan pembaruan halaman secara manual.

Skenario Pengujian

Untuk memastikan seluruh sistem berjalan sesuai dengan rancangan, dilakukan beberapa skenario pengujian.

Pengujian Smart Classroom

Pengujian sensor suhu.

Pengujian sensor kelembapan.

Pengujian sensor cahaya.

Pengujian sensor suara.

Pengujian sensor gerak.

Pengujian relay.

Pengujian infrared.

Pengujian komunikasi dengan dashboard.

Pengujian Virtual Board

Pengujian multi-user.

Pengujian sinkronisasi.

Pengujian split board.

Pengujian dashboard.

Pengujian latency komunikasi.

Pengujian Monitoring Ujian

Pengujian webcam.
Pengujian head pose estimation.
Pengujian browser monitoring.
Pengujian penyimpanan log.
Pengujian dashboard pengawas.

Apabila seluruh pengujian berhasil dilaksanakan, maka sistem dinyatakan layak untuk diimplementasikan sebagai Smart Learning Environment berbasis Internet of Things.

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan Implementasi Smart Learning Environment

Implementasi Smart Learning Environment dilakukan dengan mengintegrasikan sistem monitoring lingkungan ruang kelas, media pembelajaran kolaboratif, dan sistem pengawasan ujian ke dalam satu platform berbasis Internet of Things. Seluruh subsistem saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu bertukar data secara real-time dan menghasilkan informasi yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung proses pembelajaran.

Arsitektur sistem dibangun menggunakan mikrokontroler sebagai pusat pengendali perangkat keras, server sebagai

media pemrosesan data, basis data sebagai penyimpanan informasi, serta dashboard berbasis web sebagai antarmuka pengguna. Melalui arsitektur tersebut seluruh komponen mampu berkomunikasi secara otomatis sehingga proses monitoring, pengendalian, dan evaluasi pembelajaran dapat dilakukan secara terpusat.

Implementasi sistem dilakukan secara bertahap dimulai dari pengujian masing-masing subsistem, kemudian dilanjutkan dengan integrasi sehingga seluruh modul dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Pendekatan tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa setiap modul berfungsi dengan baik sebelum digunakan secara bersamaan dalam lingkungan pembelajaran.

4.2 Implementasi Monitoring Lingkungan Kelas

Subsistem monitoring lingkungan dirancang untuk memperoleh informasi kondisi ruang kelas secara real-time menggunakan beberapa sensor yang memiliki fungsi berbeda. Sensor suhu dan kelembapan digunakan untuk mengetahui kondisi termal ruangan, sensor cahaya digunakan

untuk mengukur intensitas pencahayaan, sensor suara digunakan untuk memantau tingkat kebisingan, sedangkan sensor gerak berfungsi mendeteksi keberadaan pengguna di dalam ruang kelas.

Seluruh data sensor dibaca secara periodik oleh mikrokontroler kemudian dikirimkan menuju server menggunakan jaringan WiFi. Informasi tersebut selanjutnya ditampilkan pada dashboard sehingga dosen maupun pengelola ruang kelas dapat mengetahui kondisi lingkungan tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung.

Selain melakukan monitoring, sistem juga mampu melakukan pengendalian perangkat elektronik secara otomatis. Ketika suhu ruangan melebihi batas kenyamanan yang telah ditentukan, sistem mengirimkan sinyal melalui modul inframerah untuk mengatur mode operasi Air Conditioner. Pengaturan tersebut meliputi perubahan suhu, mode pendinginan, maupun kecepatan kipas sesuai kondisi lingkungan yang terdeteksi.

Pada kondisi pencahayaan yang rendah, relay akan mengaktifkan lampu secara otomatis sehingga intensitas cahaya di dalam ruang kelas tetap berada pada tingkat yang sesuai untuk kegiatan belajar. Sebaliknya, apabila cahaya alami telah mencukupi maka sistem mematikan lampu untuk menghemat penggunaan energi listrik.

Informasi kondisi ruang kelas juga ditampilkan pada LCD sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi lingkungan secara langsung tanpa harus membuka dashboard monitoring. Integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan platform monitoring menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengumpulan data secara berkelanjutan dengan tingkat respons yang baik.

Implementasi Media Pembelajaran Kolaboratif

Media pembelajaran kolaboratif dikembangkan dalam bentuk Virtual Board berbasis web yang dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti komputer, laptop, tablet, maupun telepon pintar. Seluruh pengguna yang berada dalam satu sesi pembelajaran

dapat melakukan aktivitas menulis, menggambar, memberikan anotasi, maupun berdiskusi secara bersamaan pada media yang sama.

Proses sinkronisasi dilakukan menggunakan teknologi WebSocket sehingga setiap perubahan yang dilakukan oleh salah satu pengguna langsung diterima oleh server dan didistribusikan kepada seluruh pengguna lainnya dalam waktu yang sangat singkat. Mekanisme ini menghasilkan komunikasi dua arah yang stabil dan memungkinkan kolaborasi berlangsung secara real-time.

Sistem juga menyediakan dashboard pengelolaan sesi pembelajaran sehingga dosen dapat membuat ruang diskusi baru, mengatur peserta yang bergabung, serta memantau aktivitas pembelajaran secara langsung. Dashboard tersebut mempermudah proses pengelolaan kelas terutama pada pembelajaran yang melibatkan banyak peserta.

Untuk meningkatkan kenyamanan penggunaan, sistem dilengkapi dengan fitur pembagian papan kerja (*split board*) yang

memungkinkan beberapa kelompok melakukan diskusi secara bersamaan tanpa saling mengganggu. Seluruh hasil diskusi dapat disimpan secara otomatis sehingga memudahkan proses dokumentasi materi pembelajaran.

Implementasi Sistem Pengawasan Ujian

Sistem pengawasan ujian dirancang menggunakan dua metode utama, yaitu analisis visual melalui webcam dan monitoring aktivitas browser. Kedua metode tersebut bekerja secara bersamaan sehingga mampu meningkatkan tingkat akurasi dalam mendeteksi aktivitas yang mengarah pada kecurangan akademik.

Analisis visual dilakukan menggunakan teknologi Computer Vision yang memanfaatkan citra video dari webcam untuk mengidentifikasi arah pandangan, posisi kepala, serta perubahan gerakan peserta selama pelaksanaan ujian. Sistem melakukan pemrosesan citra secara berkelanjutan sehingga mampu mengenali perilaku yang tidak sesuai dengan aktivitas mengerjakan soal.

Selain analisis visual, sistem juga memonitor aktivitas browser selama ujian berlangsung. Aktivitas seperti perpindahan tab, perubahan fokus jendela, maupun pembukaan aplikasi lain direkam sebagai log aktivitas. Informasi tersebut disimpan pada basis data sehingga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi apabila ditemukan dugaan pelanggaran selama pelaksanaan ujian.

Dashboard pengawas menampilkan seluruh aktivitas peserta secara real-time sehingga pengawas dapat mengetahui kondisi ujian tanpa harus mengawasi setiap peserta secara langsung. Integrasi antara analisis visual dan monitoring aktivitas browser menghasilkan sistem pengawasan yang lebih efektif dibandingkan penggunaan salah satu metode secara terpisah.

Integrasi Antar Subsistem

Tahap integrasi dilakukan setelah seluruh modul berhasil diimplementasikan secara mandiri. Integrasi bertujuan agar seluruh subsistem dapat bekerja dalam satu lingkungan pembelajaran yang saling terhubung.

Data monitoring lingkungan yang diperoleh dari sensor dikirim menuju server dan ditampilkan pada dashboard bersama dengan informasi aktivitas pembelajaran serta hasil pengawasan ujian. Dengan demikian, pengguna hanya memerlukan satu antarmuka untuk mengakses seluruh informasi yang berkaitan dengan proses pembelajaran.

Selama pembelajaran berlangsung, sistem monitoring lingkungan menjaga kenyamanan ruang kelas melalui pengendalian perangkat elektronik secara otomatis. Pada waktu yang sama, Virtual Board mendukung proses diskusi dan kolaborasi peserta didik, sedangkan sistem pengawasan ujian diaktifkan ketika proses evaluasi pembelajaran berlangsung. Integrasi tersebut menunjukkan bahwa setiap subsistem memiliki fungsi yang berbeda namun saling melengkapi dalam mendukung terciptanya lingkungan belajar yang modern.

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi

pengujian perangkat keras, komunikasi data, sinkronisasi antar pengguna, serta kemampuan sistem dalam mendeteksi aktivitas selama pelaksanaan ujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu membaca kondisi lingkungan secara stabil dengan waktu respons yang relatif cepat. Data yang diperoleh berhasil dikirim menuju dashboard tanpa mengalami kehilangan informasi yang signifikan sehingga pengguna dapat memantau kondisi ruang kelas secara real-time.

Pengujian terhadap sistem pengendalian Air Conditioner menunjukkan bahwa modul inframerah mampu mengirimkan perintah sesuai kondisi suhu yang terdeteksi. Perubahan mode operasi AC berlangsung secara otomatis sehingga suhu ruangan dapat dipertahankan pada tingkat yang nyaman. Pengujian relay juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan lampu sesuai kondisi pencahayaan yang diperoleh dari sensor cahaya.

Pada pengujian Virtual Board, seluruh aktivitas pengguna berhasil disinkronkan secara real-time tanpa terjadi perbedaan tampilan

antar perangkat. Penggunaan WebSocket menghasilkan komunikasi yang stabil sehingga aktivitas kolaborasi dapat berlangsung secara lancar meskipun dilakukan oleh beberapa pengguna secara bersamaan.

Pengujian sistem pengawasan ujian menunjukkan bahwa webcam mampu mendeteksi arah pandangan peserta dengan baik, sedangkan monitoring aktivitas browser berhasil mencatat perpindahan tab maupun perubahan fokus jendela. Informasi tersebut berhasil ditampilkan pada dashboard pengawas sehingga proses evaluasi dapat dilakukan secara lebih objektif.

Pembahasan

Hasil implementasi menunjukkan bahwa konsep Smart Learning Environment mampu mengintegrasikan berbagai teknologi menjadi satu sistem yang saling mendukung. Monitoring lingkungan meningkatkan kenyamanan ruang kelas melalui pengendalian perangkat elektronik secara otomatis. Virtual Board meningkatkan kualitas interaksi dan kolaborasi selama proses pembelajaran, sedangkan sistem

pengawasan ujian membantu menjaga integritas akademik melalui pemanfaatan Computer Vision dan monitoring aktivitas browser.

Integrasi ketiga subsistem memberikan beberapa keuntungan dibandingkan implementasi secara terpisah. Seluruh data dapat diakses melalui dashboard yang sama sehingga mempermudah proses monitoring dan pengelolaan pembelajaran. Selain itu, penggunaan teknologi berbasis cloud memungkinkan sistem diakses dari berbagai lokasi tanpa dibatasi oleh perangkat tertentu.

Meskipun demikian, sistem masih memiliki beberapa keterbatasan. Kinerja komunikasi data sangat bergantung pada kualitas jaringan internet. Gangguan koneksi dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman data sensor maupun sinkronisasi Virtual Board. Selain itu, akurasi sistem pengawasan ujian dipengaruhi oleh kualitas pencahayaan dan posisi webcam. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut agar sistem mampu bekerja secara optimal pada berbagai kondisi lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil implementasi membuktikan bahwa Smart Learning Environment berbasis Internet of Things mampu mendukung proses pembelajaran yang lebih nyaman, kolaboratif, aman, dan efisien. Integrasi berbagai teknologi dalam satu platform menjadi langkah awal menuju implementasi Smart Campus yang mampu meningkatkan kualitas layanan pendidikan secara berkelanjutan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengembangan **Smart Learning Environment berbasis Internet of Things** berhasil mengintegrasikan berbagai teknologi pendukung pembelajaran ke dalam satu platform yang saling terhubung. Integrasi tersebut mencakup sistem monitoring lingkungan ruang kelas, media pembelajaran kolaboratif berbasis digital, serta sistem pengawasan pelaksanaan ujian yang mampu bekerja secara real-time melalui komunikasi data berbasis jaringan.

Implementasi sistem monitoring lingkungan berhasil melakukan pengamatan terhadap kondisi ruang kelas melalui sensor suhu, kelembapan, intensitas cahaya, tingkat kebisingan, dan keberadaan pengguna. Informasi yang diperoleh dari sensor dapat diproses secara otomatis untuk mengendalikan perangkat elektronik seperti lampu dan Air Conditioner sesuai kondisi lingkungan yang terdeteksi. Pengendalian otomatis tersebut mampu menjaga kenyamanan ruang belajar sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan energi karena perangkat hanya bekerja sesuai kebutuhan.

Media pembelajaran kolaboratif yang dikembangkan juga mampu mendukung interaksi antar pengguna secara real-time melalui mekanisme sinkronisasi data berbasis WebSocket. Seluruh aktivitas seperti penulisan, penggambaran, maupun anotasi dapat dilakukan secara bersamaan oleh beberapa pengguna tanpa mengalami perbedaan tampilan antar perangkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendukung proses diskusi, kolaborasi kelompok, maupun pembelajaran

digital secara lebih efektif dibandingkan metode konvensional.

Sistem pengawasan pelaksanaan ujian menunjukkan kemampuan dalam meningkatkan integritas proses evaluasi pembelajaran melalui kombinasi teknologi Computer Vision dan monitoring aktivitas browser. Pemanfaatan webcam memungkinkan sistem melakukan analisis terhadap arah pandangan dan pergerakan kepala peserta, sedangkan monitoring browser mampu mendeteksi aktivitas digital yang berpotensi mengindikasikan terjadinya kecurangan. Integrasi kedua metode tersebut menghasilkan proses pengawasan yang lebih objektif dan membantu pengawas memperoleh informasi secara real-time selama ujian berlangsung.

Integrasi ketiga subsistem menghasilkan sebuah lingkungan pembelajaran yang lebih cerdas, adaptif, dan terpusat. Seluruh data dari berbagai perangkat dapat dikumpulkan dalam satu dashboard sehingga memudahkan proses monitoring, pengendalian, dan evaluasi oleh dosen maupun pengelola institusi pendidikan. Pendekatan ini tidak hanya

meningkatkan kenyamanan dan efektivitas pembelajaran, tetapi juga mendukung efisiensi operasional serta pengambilan keputusan berbasis data.

Secara keseluruhan, penerapan Internet of Things, Artificial Intelligence, Computer Vision, Cloud Computing, serta teknologi komunikasi real-time menunjukkan bahwa konsep Smart Learning Environment memiliki potensi yang besar untuk mendukung transformasi pendidikan menuju ekosistem pembelajaran digital yang lebih modern, interaktif, aman, dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini juga menjadi dasar dalam pengembangan konsep **Smart Campus**, yaitu lingkungan pendidikan yang mampu mengintegrasikan berbagai layanan akademik, fasilitas, dan teknologi ke dalam satu sistem yang saling terhubung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anusha, R., Kumar, P., & Reddy, S. (2022). *IoT-Based Smart Classroom Monitoring System for Educational Institutions*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(5), 112–120.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2017). *The Internet of Things: A Survey*. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Barros, N., Sobral, P., Moreira, R. S., Vargas, J., Fonseca, A., Abreu, I., & Guerreiro, M. S. (2024). *SchoolAIR: A Citizen Science IoT Framework Using Low-Cost Sensing for Indoor Air Quality Management*. *Sensors*, 24(1), 1–21.
- Botland Store. (2022). *Sound Sensor Module*. <https://botland.store>
- Deloitte. (2023). *Global Education Technology Trends Report 2023*. Deloitte Insights.
- Dendir, S., & Maxwell, D. (2020). *Online Examination Integrity and Academic Honesty*. *Journal of Educational Technology*, 18(2), 55–68.
- Dillenbourg, P. (2018). *Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches*. Elsevier.
- Dimitriou, G., & Gioulekas, F. (2025). *Noise Impact Analysis of School Environments Based on IoT Sensor Nodes*. *Signals*, 6(2), 210–228.
- Dompeipen, T. A., & Sompie, S. R. U. A. (2020). *Penerapan Computer Vision untuk Pendeteksian dan Penghitung Jumlah Manusia*. *Jurnal Teknik Informatika*, 15(4), 1–10.
- Eduflow. (2021). *Student Integrity in Remote Assessment Survey*. <https://www.eduflow.com>
- Efendi, Y., Imardi, S., Edigan, F., & Syaifullah, M. (2020). *PKM Teknologi RFID Internet of Things untuk Menuju Smart School pada SMK Negeri 1 Perhentian Raja*. *Jurnal TUNAS*, 2(1), 35–42.
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-Based Software*

- Architectures. University of California, Irvine.
- Fidarliyan, Y. D. S., Prasetijo, A. B., & Eridani, D. (2022). *Classroom Occupancy Monitoring System Using IoT Device and the K-Nearest Neighbor Algorithm*. Jurnal Teknik Elektro, 14(3), 145–153.
- García, E., & Weiss, E. (2019). *Digital Whiteboards in Collaborative Classrooms*. Educational Technology Research and Development, 67(4), 1023–1040.
- Himawan, M. D. P., & Ilmananda, A. S. (2024). *Penerapan Internet of Things sebagai Sistem Monitoring Kehadiran Dosen*. JATI: Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika ITN Malang, 8(1), 24–31.
- Iqbal, M., Ahmed, S., & Rahman, T. (2022). *Anti-Cheating System with Multimodal Monitoring*. Education and Information Technologies, 27(6), 7321–7344.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2017). *Cooperative Learning*. Allyn & Bacon.
- Jogja Robotika. (2023). *LDR Sensor Module*. <https://www.jogjarobotika.com>
- Kamaruzzaman, N., Abdullah, M., & Aziz, N. (2021). *Indoor Environmental Quality and Student Learning Performance*. Building and Environment, 196, 107–116.
- Kim, J., Park, H., & Lee, S. (2021). *Interactive Digital Whiteboards for Collaborative Learning*. Computers & Education, 165, 104149.
- Kumar, A., & Singh, R. (2023). *AI-Based Online Examination Proctoring Using Computer Vision*. International Journal of Emerging Technologies in Learning, 18(3), 45–58.
- Lazada. (2023). *ESP32-S3 Development Board*. <https://www.lazada.co.id>
- Lee, K., Choi, J., & Kim, H. (2020). *Cloud-Based Learning Systems for Higher Education*. Journal of Educational Technology Systems, 49(1), 3–21.
- Made-in-China. (2026). *DHT22 Temperature and Humidity Sensor Module*. <https://www.made-in-china.com>
- Mell, P., & Grance, T. (2019). *The NIST Definition of Cloud Computing*. NIST Special Publication 800-145.
- Mollah, M. N., Islam, M. S., & Mahmud, S. (2022). *Automated Cheating Detection in Online Exams Using Deep Learning and Video Analytics*. IEEE Access, 10, 11245–11257.
- Pahl, C. (2020). *Cloud-Native Application Design Patterns*. IEEE Cloud Computing, 7(1), 16–23.
- Politeknik Negeri Batam. (2026). *Relay 2 Channel Module*. <https://peminjaman.polibatam.ac.id>
- Rahman, A., & Putra, D. (2022). *Implementation of IoT-Based Smart Classroom*. International Journal of Emerging Technologies in Learning, 17(10), 45–58.
- Rapid Online. (2023). *PIR Motion Sensor*. <https://www.rapidonline.com>
- Rafiq, M., Hasan, A., & Yusuf, H. (2023). *IoT-Based Smart Learning Environment for Educational Buildings*. Journal of Ambient Intelligence and

- Humanized Computing, 14(8), 9951–9965.
- Sari, M., Nugroho, A., & Prasetyo, R. (2024). *Development of Digital Learning Media with API Integration*. Education and Information Technologies, 29(2), 1123–1138.
- UNESCO. (2023). *Global Education Monitoring Report 2023*. UNESCO Publishing.
- Widjaja, H., Saputra, D., & Kurniawan, A. (2022). *Smart Classroom Design Based on Internet of Things Technology*. Journal of Information Systems Engineering, 7(2), 65–74.
- Zhang, Y., Liu, X., & Chen, W. (2023). *Online Collaborative Learning Environments: Design and Evaluation*. Computers & Education, 190, 104601.
- Zilni, A., & Wibisono, H. (2025). *Integrated Smart Classroom for Energy Efficient Learning Environment*. International Journal of Smart Technology, 5(1), 12–23.