

Rancang Bangun Sistem IoT untuk Monitoring Status dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Mesin Produksi dengan Dashboard Analitik Berbasis Laravel

Kholid Wahyudi*, Sanudin, Yogi Yulianto

Universitas Pelita Bangsa, Indonesia

Email: kholidwahyudi15@gmail.com*, sanudin@pelitabangsa.ac.id,

yogi@pelitabangsa.ac.id

Keywords:

*Internet of Things (IoT);
Production Machine Monitoring;
Overall Equipment Effectiveness
(OEE); Laravel; ESP8266;
Telegram Bot.*

Abstract

This research employed the Prototype development method, consisting of requirement analysis, system design, implementation, and functional testing. The hardware implementation utilized ACS712 current sensors, an ADS1115 analog-to-digital converter, and a NodeMCU ESP8266 microcontroller to detect the status of Andon indicator lamps. Machine status data were transmitted using the HTTP protocol to a Laravel-based application, where the data were stored in a database and processed automatically to calculate Availability, Performance, Quality, and Overall Equipment Effectiveness (OEE). Production output was estimated using a 35-second cycle time for each product. In addition, the system generated automatic notifications through the Telegram Bot API whenever the machine entered STOP or ERROR conditions. System information was presented through the Monitoring Dashboard, OEE Dashboard, System Performance Dashboard, and Telegram Notification Log Dashboard. The results demonstrate that the proposed system successfully detects five machine operating conditions, namely RUNNING, IDLE, STOP, ERROR, and OFF, and transmits machine status data to the server in real time. The system is capable of automatically calculating OEE parameters based on operational data and presenting the analysis through a web-based dashboard. Furthermore, automatic notifications are successfully delivered to the Maintenance Department and Production Supervisor whenever the machine enters STOP or ERROR conditions, enabling faster responses to machine failures. Based on the implementation and testing results, the developed system operates according to the designed specifications and effectively supports integrated production machine monitoring and performance evaluation.

Kata Kunci:

*Internet of Things (IoT);
Monitoring Mesin Produksi;
Overall Equipment Effectiveness
(OEE); Laravel; ESP8266;
Telegram Bot.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem Internet of Things (IoT) untuk monitoring status mesin produksi dengan integrasi dashboard analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan notifikasi Telegram. Sistem dikembangkan menggunakan metode Prototype dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian. Perangkat keras terdiri dari sensor arus ACS712, modul ADS1115, dan NodeMCU ESP8266 untuk mendeteksi kondisi lampu indikator Andon. Data status mesin dikirim menggunakan protokol HTTP menuju aplikasi berbasis Laravel, kemudian disimpan ke dalam basis data, dihitung nilai Availability, Performance, Quality, dan Overall Equipment Effectiveness (OEE) secara otomatis. Perhitungan Output Produksi dilakukan

menggunakan pendekatan Cycle Time sebesar 35 detik per produk, sedangkan notifikasi otomatis dikirim melalui Telegram Bot API ketika mesin berada pada kondisi STOP atau ERROR. Informasi sistem disajikan melalui Dashboard Monitoring, Dashboard OEE, Dashboard System Performance, dan Dashboard Log Notifikasi Telegram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi lima kondisi mesin, yaitu RUNNING, IDLE, STOP, ERROR, dan OFF, kemudian mengirimkan data ke server secara real-time. Sistem mampu menghitung parameter Overall Equipment Effectiveness (OEE) secara otomatis berdasarkan data operasional mesin serta menampilkan hasil analisis melalui dashboard berbasis web. Selain itu, sistem berhasil mengirimkan notifikasi kepada Maintenance dan Supervisor Produksi (SPV) ketika terjadi kondisi STOP atau ERROR, sehingga informasi gangguan dapat diterima dengan lebih cepat. Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem yang dibangun telah berfungsi sesuai dengan perancangan dan mampu mendukung proses monitoring serta evaluasi efektivitas mesin produksi secara terintegrasi.

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem produksi di lingkungan industri menuntut adanya mekanisme pemantauan kondisi mesin yang andal, cepat, dan berkelanjutan (Atmasani, 2025; Febriyanto et al., 2025; Pradana & Rahmانيar, 2025; Riza et al., 2026; Siregar et al., 2025). Dalam praktiknya, pemantauan status mesin produksi masih banyak dilakukan secara manual melalui pengamatan langsung dan pencatatan konvensional oleh operator. Pendekatan tersebut memiliki sejumlah keterbatasan karena sangat bergantung pada ketelitian manusia, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam mendeteksi gangguan mesin serta menyulitkan proses evaluasi kinerja produksi secara menyeluruh (Ardianto et al., 2019).

Seiring dengan berkembangnya konsep Industri 4.0, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) mulai digunakan untuk mendukung proses digitalisasi dan otomatisasi sistem produksi (Atmasani, 2025; Khaidar, 2025; Noor et al., 2025; Rustiyana et al., 2025; Sudradjat et al., 2025; Widodo et al., 2024; Zulfahmi Noor et al., 2025). Teknologi IoT memungkinkan mesin produksi terhubung dengan sistem pemantauan berbasis jaringan, sehingga data operasional dapat dikumpulkan, disimpan, dan ditampilkan secara real-time. Sistem monitoring mesin produksi berbasis IoT dengan indikator visual telah dikembangkan untuk meningkatkan kecepatan respons terhadap gangguan mesin sekaligus menyediakan data historis yang dapat dimanfaatkan dalam proses pengambilan keputusan (Rajagukguk & Widianono, 2025; Sharma et al., 2023).

Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam pemantauan status mesin produksi adalah sistem Andon, yang memanfaatkan indikator visual berupa lampu untuk menunjukkan kondisi operasional mesin (Adnyani et al., 2025; Arifianto et al., 2025; Priatna, 2025). Sistem Andon efektif sebagai media komunikasi di area produksi karena mampu menyampaikan informasi status mesin secara langsung kepada operator. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu sistem monitoring mesin produksi yang terintegrasi, tidak hanya menampilkan status mesin secara real-time melalui indikator Andon, tetapi juga mampu menyimpan data operasional secara terstruktur dan mendukung analisis OEE secara otomatis. Selain itu, keberadaan sistem notifikasi otomatis menjadi penting untuk memberikan peringatan dini ketika terjadi kondisi mesin yang tidak normal. Akibatnya, informasi status mesin hanya dimanfaatkan secara sesaat dan sulit dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui pola

gangguan maupun tingkat efektivitas mesin dalam jangka waktu tertentu (Rajagukguk & Widiyanto, 2025).

Untuk memperoleh informasi kondisi mesin secara lebih akurat dan berkelanjutan, sensor arus listrik dapat dimanfaatkan sebagai indikator status operasional mesin. Perubahan nilai arus listrik mencerminkan kondisi kerja mesin, baik saat mesin berhenti, berjalan tanpa beban, maupun beroperasi dalam kondisi normal. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan kondisi mesin dilakukan tanpa memerlukan modifikasi mekanis pada mesin produksi, sehingga lebih fleksibel untuk diterapkan pada berbagai jenis mesin (Sharma et al., 2023).

Selain itu, penggunaan mikrokontroler berbasis ESP8266 dalam sistem monitoring IoT memberikan keuntungan dari sisi konektivitas jaringan dan kemudahan integrasi dengan sistem berbasis Cloud. Sistem monitoring mesin berbasis ESP8266 mampu mengirimkan data pengukuran secara daring dan menampilkannya dalam bentuk dashboard pemantauan yang informatif (Wibowo et al., 2024). Dengan tersedianya data operasional mesin secara kontinu, peluang untuk melakukan analisis kinerja mesin menjadi lebih terbuka (Ardianto et al., 2019).

Dalam konteks evaluasi kinerja mesin produksi, Overall Equipment Effectiveness (OEE) merupakan indikator yang digunakan untuk mengukur efektivitas mesin berdasarkan aspek ketersediaan, performa, dan kualitas. Penerapan analisis OEE membutuhkan data operasional mesin yang akurat dan tercatat secara berkelanjutan. Namun, pada banyak sistem produksi, data yang dibutuhkan untuk perhitungan OEE masih dikumpulkan secara manual atau terpisah dari sistem monitoring mesin, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaktepatan hasil analisis (Corrales et al., 2020; Purnamasingrum et al., 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu sistem monitoring mesin produksi yang terintegrasi, tidak hanya menampilkan status mesin secara real-time melalui indikator Andon, tetapi juga mampu menyimpan data operasional ke dalam sistem berbasis Cloud dan mendukung analisis OEE secara otomatis. Selain itu, keberadaan sistem notifikasi otomatis menjadi penting untuk memberikan peringatan dini ketika terjadi kondisi mesin yang tidak normal. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan “Rancang Bangun Sistem IoT untuk Monitoring Status dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Mesin Produksi dengan Dashboard Analitik Berbasis Laravel” sebagai solusi untuk meningkatkan efektivitas pemantauan dan pengelolaan mesin produksi (Rajagukguk & Widiyanto, 2025; Thiro & Yunior, 2025).

Berdasarkan latar belakang penelitian, permasalahan yang ditemukan meliputi pemantauan status mesin yang masih dilakukan secara manual, sistem Andon yang belum terintegrasi dengan sistem penyimpanan dan pengolahan data secara terpusat, pemanfaatan data operasional yang belum optimal untuk analisis OEE, serta belum adanya notifikasi otomatis ketika terjadi kondisi mesin yang tidak normal. Penelitian ini dibatasi pada rancang bangun sistem monitoring status mesin produksi berbasis IoT menggunakan ESP8266 dan sensor arus ACS712 dengan indikator Andon, perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE), dashboard berbasis Laravel, serta notifikasi melalui Telegram, tanpa membahas perbaikan mekanis atau optimasi fisik mesin. Berdasarkan batasan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring mesin secara real-time, mengintegrasikan data operasional mesin dengan server aplikasi berbasis Laravel, mengimplementasikan perhitungan OEE, mengembangkan dashboard analitik berbasis Laravel, dan menyediakan notifikasi otomatis terhadap kondisi mesin yang tidak normal. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat

secara teoritis dalam pengembangan kajian IoT untuk monitoring mesin produksi dan secara praktis dapat membantu meningkatkan kecepatan respons terhadap gangguan, menyediakan informasi kondisi mesin secara terintegrasi, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data di lingkungan industri.

METODE PENELITIAN

Tinjauan Umum

Penelitian ini merupakan penelitian rancang bangun (engineering research) yang bertujuan merancang, mengembangkan, mengimplementasikan, dan menguji sistem monitoring status mesin produksi berbasis Internet of Things (IoT). Metode pengembangan yang digunakan adalah metode Prototype yang meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan penyempurnaan sistem (Setiaji et al., 2025). Sistem yang dikembangkan menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor arus ACS712, modul ADS1115, dan indikator Andon untuk mendeteksi kondisi mesin. Data hasil pembacaan sensor dikirim melalui jaringan WiFi menggunakan protokol HTTP menuju Laravel REST API, kemudian diproses dan disimpan dalam basis data. Data tersebut digunakan untuk monitoring kondisi mesin, perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE), penyajian informasi melalui dashboard berbasis web, serta pengiriman notifikasi Telegram ketika terjadi kondisi tertentu (Al-Fuqaha et al., 2015; Delfianti et al., 2025). Tahapan penelitian meliputi studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis hasil.

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah proses monitoring status operasional mesin produksi menggunakan sistem berbasis IoT. Kondisi mesin dideteksi melalui indikator Andon yang menunjukkan lima status, yaitu RUNNING, IDLE, STOP, ERROR, dan OFF. Data tersebut digunakan sebagai dasar monitoring dan perhitungan OEE. Selain status mesin, data yang diamati meliputi Runtime, Downtime, Output Produksi, dan Target Produksi yang digunakan untuk menghitung Availability, Performance, Quality, dan OEE berdasarkan periode shift. Hasil pengolahan data ditampilkan melalui dashboard berbasis web, sedangkan kondisi tertentu digunakan sebagai pemicu notifikasi Telegram.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan, yaitu studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis hasil. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji referensi mengenai IoT, monitoring mesin produksi, sistem Andon, sensor arus, ESP8266, Cloud Computing, OEE, dan sistem notifikasi Telegram. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan untuk menentukan perangkat keras, perangkat lunak, data, status mesin, sistem penyimpanan, dashboard, dan notifikasi yang diperlukan. Tahap perancangan mencakup arsitektur sistem, perangkat keras, perangkat lunak, alur data, logika penentuan status mesin, dan mekanisme notifikasi. Tahap implementasi dilakukan dengan merakit perangkat keras, memprogram ESP8266, mengembangkan sistem penyimpanan dan pengolahan data menggunakan Laravel dan MySQL, dan membuat dashboard monitoring. Setelah sistem selesai dibuat, dilakukan pengujian terhadap perangkat keras, pembacaan status mesin, pengiriman dan penyimpanan data, dashboard, notifikasi Telegram, serta kinerja sistem. Tahap terakhir adalah analisis hasil untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem dengan kebutuhan dan tujuan penelitian.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan untuk menentukan hubungan antara perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan meliputi arsitektur sistem IoT, perangkat keras, perangkat lunak, alur data, sistem monitoring, perhitungan OEE, dashboard, dan notifikasi Telegram. Perancangan ini menjadi dasar dalam proses implementasi agar setiap komponen dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan fungsi yang telah ditentukan.

Arsitektur Sistem IoT

Arsitektur sistem IoT terdiri atas tiga lapisan, yaitu device layer, network layer, dan application layer. Pada device layer, sensor ACS712 digunakan untuk mendeteksi kondisi lampu indikator Andon dan data diproses oleh ESP8266 untuk menentukan status mesin. Pada network layer, ESP8266 mengirimkan data melalui WiFi menggunakan protokol HTTP menuju server aplikasi. Pada application layer, Laravel menerima, memvalidasi, mengolah, dan menyimpan data ke dalam basis data MySQL, kemudian menyajikannya melalui dashboard berbasis web serta mengirimkan notifikasi Telegram.

Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras sistem terdiri atas NodeMCU ESP8266 sebagai pusat pengolahan data dan komunikasi WiFi, sensor arus ACS712 untuk mendeteksi kondisi lampu indikator, modul ADC ADS1115 untuk mengubah sinyal analog menjadi digital, lampu indikator DC sebagai sistem Andon, saklar manual sebagai simulasi kondisi mesin, PCB sebagai media integrasi komponen, fuse 1A sebagai pengaman arus, dan power supply 5V sebagai sumber daya. ESP8266 membaca data sensor, menentukan status mesin, dan mengirimkan data ke server. Sensor ACS712 digunakan untuk mendeteksi kondisi aktif atau tidak aktifnya lampu Andon, sedangkan ADS1115 membantu proses pembacaan sinyal sensor. Seluruh komponen dihubungkan agar dapat bekerja sebagai satu kesatuan dalam proses monitoring mesin.

Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dirancang untuk mengatur proses pembacaan sensor, penentuan status mesin, pengiriman data ke server aplikasi, penyimpanan data, penyajian informasi pada dashboard, dan pengiriman notifikasi Telegram. Proses dimulai dengan inisialisasi ESP8266 dan koneksi WiFi, kemudian sensor membaca kondisi lampu indikator melalui ADS1115. Data hasil pembacaan diproses untuk menentukan status mesin dan dikirim melalui Laravel REST API untuk disimpan dalam basis data. Data yang tersimpan digunakan untuk monitoring dan perhitungan OEE. Apabila sistem mendeteksi kondisi STOP atau ERROR, aplikasi Laravel secara otomatis mengirimkan notifikasi melalui Telegram.

Perancangan Sistem Monitoring Status Mesin

Sistem monitoring menggunakan sensor ACS712 untuk mendeteksi kondisi aktif atau tidak aktif lampu indikator Andon. Sensor tersebut tidak digunakan untuk mengukur konsumsi daya mesin, tetapi untuk mengetahui kondisi lampu sebagai representasi status mesin. Lampu hijau menunjukkan kondisi RUNNING, lampu kuning menunjukkan IDLE, lampu merah menunjukkan STOP, kombinasi lampu merah dan kuning menunjukkan ERROR, sedangkan seluruh lampu yang mati menunjukkan kondisi OFF. Status yang diperoleh diproses oleh ESP8266 dan dikirim ke server untuk disimpan sebagai data historis. Data tersebut digunakan dalam monitoring, perhitungan Runtime dan Downtime, analisis OEE, serta pemicu notifikasi Telegram.

Perancangan Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Analisis OEE dilakukan untuk mengukur efektivitas mesin berdasarkan Availability, Performance, dan Quality yang dihitung otomatis melalui Laravel menggunakan data Runtime, Downtime, Output, Target Produksi, dan Defect Product. Nilai OEE dihitung dari perkalian ketiga parameter tersebut dan dikelompokkan berdasarkan shift produksi untuk ditampilkan pada dashboard. Dashboard berbasis Laravel digunakan untuk menampilkan status mesin secara real-time, hasil OEE, system performance, serta log notifikasi Telegram. Sistem notifikasi Telegram memberikan informasi otomatis kepada Maintenance dan Supervisor Produksi ketika terjadi status STOP atau ERROR. Alat dan bahan penelitian meliputi laptop, software IDE, web browser, Telegram, NodeMCU ESP8266, sensor ACS712, ADS1115, lampu Andon, saklar, power supply, PCB, fuse, Laravel sebagai application layer, dan Laravel. Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi perangkat keras, monitoring status mesin, komunikasi dan penyimpanan data, dashboard, notifikasi Telegram, serta kinerja sistem berjalan sesuai rancangan. Pengujian kinerja menggunakan parameter success rate dan latency, dengan success rate dihitung berdasarkan perbandingan jumlah pengiriman berhasil terhadap total pengiriman.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif dan fungsional dengan membandingkan hasil pengujian terhadap tujuan dan rancangan sistem. Analisis status mesin dilakukan dengan mengevaluasi ketepatan pencatatan status RUNNING, IDLE, STOP, ERROR, dan OFF beserta timestamp-nya. Analisis OEE dilakukan menggunakan data Runtime, Downtime, Output Produksi, Target Produksi, dan Defect Product untuk memperoleh nilai Availability, Performance, Quality, dan OEE. Data juga dikelompokkan berdasarkan shift untuk mengetahui efektivitas mesin pada setiap periode kerja. Selanjutnya, analisis kinerja sistem dilakukan berdasarkan success rate dan latency komunikasi antara perangkat IoT, Laravel REST API, dashboard, dan Telegram. Hasil analisis digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirim, mengolah, menyimpan, dan menampilkan data secara real-time serta mendukung proses monitoring kondisi mesin produksi secara efektif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Sub bab ini menjelaskan hasil implementasi sistem yang telah dikembangkan berdasarkan perancangan yang telah dibahas pada BAB III. Sistem yang dibangun merupakan sistem monitoring status mesin produksi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mendeteksi kondisi operasional mesin secara real-time, mengirimkan data ke aplikasi berbasis Laravel melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol HTTP, serta menyajikan informasi monitoring, analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE), dan notifikasi Telegram secara terintegrasi.

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras berupa NodeMCU ESP8266, sensor arus ACS712, modul ADS1115, serta lampu indikator Andon sebagai sumber informasi kondisi mesin. Data yang diperoleh dari perangkat IoT dikirimkan ke aplikasi Laravel sebagai Cloud Application layer untuk diproses, disimpan ke dalam basis data, dihitung nilai OEE, dan ditampilkan melalui dashboard monitoring berbasis web.

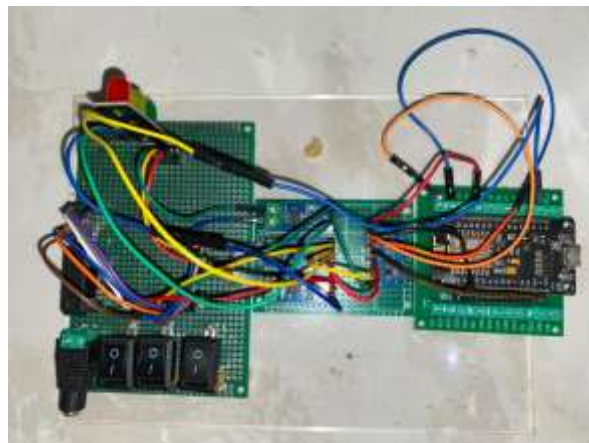
Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan proses monitoring status mesin, pencatatan data historis, perhitungan Runtime dan Downtime, estimasi Output Produksi berdasarkan cycle time, perhitungan Availability, Performance, Quality, dan Overall Equipment Effectiveness (OEE), serta pengiriman notifikasi Telegram secara otomatis ketika mesin berada pada kondisi STOP atau ERROR. Selain itu, sistem juga mampu mengelompokkan data berdasarkan shift produksi sehingga informasi yang ditampilkan lebih sesuai dengan kondisi operasional di lapangan.

Selanjutnya, hasil implementasi sistem, proses perhitungan OEE, serta hasil pengujian setiap komponen sistem akan dijelaskan secara rinci pada subbab berikutnya.

Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras merealisasikan sistem monitoring status mesin produksi berbasis IoT, mulai dari akuisisi data, pengolahan, hingga pengiriman informasi kondisi mesin ke aplikasi Laravel.

Setiap sensor ACS712 dipasang pada jalur suplai lampu indikator Andon (merah, kuning, hijau) untuk mendeteksi arus saat lampu menyala. Nilai arus dikonversi ke data digital oleh ADS1115, lalu diproses NodeMCU ESP8266 untuk menentukan status mesin (RUNNING, IDLE, STOP, ERROR, OFF). Data status beserta nilai sensor dan waktu pengiriman dikirim ke Laravel via Wi-Fi (HTTP), menjadi dasar monitoring, perhitungan OEE, dan notifikasi Telegram.



Gambar 1. Implementasi Perangkat Keras Sistem Monitoring Mesin Produksi Berbasis IoT
Sumber: Dokumentasi Penelitian (2026)

Tabel 1. Implementasi Perangkat Keras

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	NodeMCU ESP8266	ESP8266 Wi-Fi Module	Mikrokontroler & komunikasi data
2	Sensor ACS712	5A (3 buah)	Mendeteksi arus lampu indikator
3	ADS1115	16-bit ADC	Konversi sinyal analog ke digital
4	Lampu Andon	Merah, Kuning, Hijau	Indikator status mesin
5	Power Supply	5 Volt DC	Catu daya sistem
6	PCB	PCB Perforated	Media perakitan rangkaian
7	Kabel Jumper	Male-Female	Penghubung antar komponen

Sumber: Dokumentasi Penelitian (2026)

Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan dalam dua bagian: firmware NodeMCU ESP8266 (Arduino IDE, C++) dan aplikasi Laravel (Application layer), yang berkomunikasi via REST API/HTTP secara real-time.

Firmware bertugas menginisialisasi perangkat, membaca sensor ACS712 melalui ADS1115, menentukan status mesin, mengirim data ke Laravel, serta menjaga koneksi dengan mekanisme Auto Reconnect Wi-Fi.

Kode Program 4.1 Penentuan Status Mesin

```
cpp
if (
redActive && yellowActive) { machineStatus = "ERROR"; }
else if (redActive) { machineStatus = "STOP"; }
else if (yellowActive) { machineStatus = "IDLE"; }
else if (greenActive) { machineStatus = "RUNNING"; }
else { machineStatus = "OFF"; }
```

Setelah status ditentukan, firmware menyusun data JSON (identitas mesin, status, nilai sensor, RSSI, uptime) dan mengirimkannya via HTTP POST.

Kode Program 4.2 Pengiriman Data ke Laravel REST API

```
cpp
http.begin(client, SERVER_URL);
http.addHeader("Content-Type", "application/json");
int httpCode = http.POST(jsonData);
```

Di sisi server, Laravel memvalidasi dan menyimpan data, memperbarui Runtime/Downtime, menghitung OEE, serta mengirim notifikasi Telegram saat status STOP/ERROR. Perhitungan OEE ditangani oleh OeeService berdasarkan Runtime dan Cycle time (35 detik) tanpa input manual, dan dikelompokkan per shift: Shift 1 (07.00–16.00), Shift 2 (16.00–23.45), Shift 3 (23.45–07.00).

Seluruh alur — pembacaan sensor, penentuan status, REST API, penyimpanan data, perhitungan OEE, hingga notifikasi Telegram — berjalan terintegrasi sesuai rancangan.

Implementasi Laravel

Laravel menjadi pusat pengolahan data: menerima data via REST API, mengelola basis data, menghitung OEE, dan menyediakan data untuk dashboard serta notifikasi Telegram. Aplikasi dibangun dengan pola MVC agar setiap fungsi terpisah dan mudah dikembangkan, terdiri atas REST API, Controller, Service, Model, dan View.

1. REST API Media komunikasi NodeMCU–Laravel; data dikirim via HTTP POST (JSON) dan divalidasi sebelum diproses.

```
php
Route::post('/status', [StatusMesinController::class, 'store']);
```

2. Controller StatusMesinController menerima data dari REST API, memvalidasi, menyimpan ke basis data, dan mengembalikan respons JSON.

```
php
public function store(Request $request)
{
```

```

$request->validate(['mesin_id' => 'required', 'status' => 'required']);
$statusBaru = StatusMesin::create([
    'mesin_id' => $request->mesin_id,
    'status' => $request->status,
    'waktu_mulai' => now()
]);
return response()->json(['success' => true, 'data' => $statusBaru]);
}

```

3. Service Logika bisnis dipisahkan dari Controller melalui: ShiftService (penentuan shift otomatis), ProduksiService (data produksi harian), OeeService (perhitungan Availability, Performance, Quality, OEE), dan TelegramService (notifikasi).
4. Model Menggunakan Eloquent ORM: Mesin, StatusMesin, ProduksiHarian, TelegramLog, SystemPerformance.
5. View Menyajikan hasil monitoring dan analisis dalam bentuk dashboard web.

Implementasi Basis Data

Basis data menggunakan MySQL yang terintegrasi dengan Laravel via Eloquent ORM, mendukung monitoring status mesin, perhitungan OEE, pencatatan kinerja sistem, dan riwayat notifikasi Telegram. Tabel utama: mesins, status_mesins, produksi_harian, telegram_logs, system_performances.

Tabel 2. Tabel mesins, identitas mesin, referensi utama bagi tabel lain.

Field	Tipe Data	Keterangan
id	bigint	Primary Key
nama_mesin	varchar	Nama mesin produksi
lokasi	varchar	Lokasi mesin
created_at / updated_at	timestamp	Waktu buat/ubah data

Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

Tabel 3. Tabel status mesins, riwayat perubahan status mesin, dasar perhitungan Runtime/Downtime dan histori dashboard.

Field	Tipe Data	Keterangan
id	bigint	Primary Key
mesin_id	bigint	Foreign Key ke mesin
status	varchar	Status mesin
waktu_mulai / waktu_selesai	datetime	Waktu mulai/selesai status
durasi_detik	integer	Durasi status

Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

Tabel 4. Tabel produksi harian, data operasional per tanggal & shift, dasar perhitungan Availability, Performance, Quality, OEE.

Field	Tipe Data	Keterangan
mesin_id	bigint	ID mesin
tanggal	date	Tanggal produksi
shift	integer	Shift produksi
planned_production_time	integer	Waktu produksi direncanakan
runtime / downtime	integer	Waktu beroperasi/berhenti
targetproduksi / outputproduksi	integer	Target/hasil produksi

produk_defect	integer	Produk cacat
---------------	---------	--------------

Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

Tabel 5. Tabel telegram logs, riwayat pengiriman notifikasi, ditampilkan di halaman Log Notifikasi Telegram.

Field	Tipe Data	Keterangan
mesin_id	bigint	ID mesin
status_mesin	varchar	Status mesin
pesan	text	Isi notifikasi
waktu_kirim	datetime	Waktu pengiriman
status_kirim	varchar	Status pengiriman

Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

Tabel 6. Tabel system, performances, kinerja komunikasi sistem (jumlah & latensi pengiriman data).

Field	Tipe Data	Keterangan
tanggal	date	Tanggal pengukuran
total_pengiriman	integer	Total data terkirim
pengiriman_berhasil / pengiriman_gagal	integer	Jumlah berhasil/gagal
latency_iot_cloud	integer	Latensi IoT → Cloud
latency_cloud_dashboard	integer	Latensi Cloud → Dashboard
latency_cloud_telegram	integer	Latensi Cloud → Telegram

Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

Implementasi Dashboard

Dashboard dibangun dengan Laravel untuk menampilkan data secara dinamis via web browser, diperbarui berdasarkan data dari perangkat IoT. Terdiri atas empat halaman:

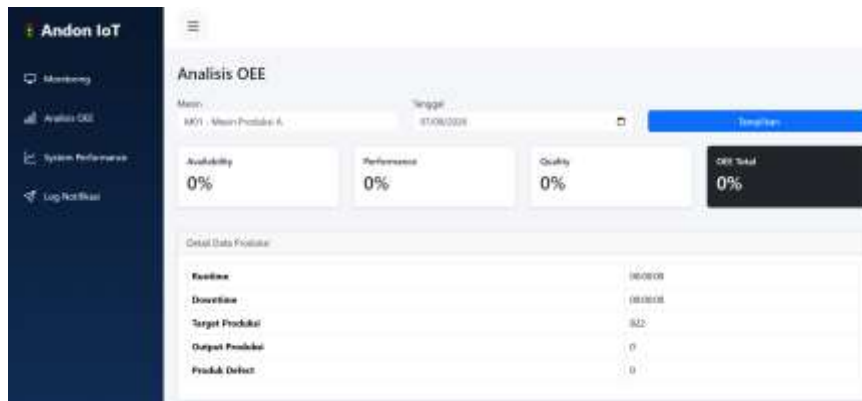
1. Dashboard Monitoring — status mesin saat ini, indikator warna, waktu pembaruan terakhir, estimasi output, grafik dan riwayat perubahan status.



Gambar 2. Dashboard Monitoring

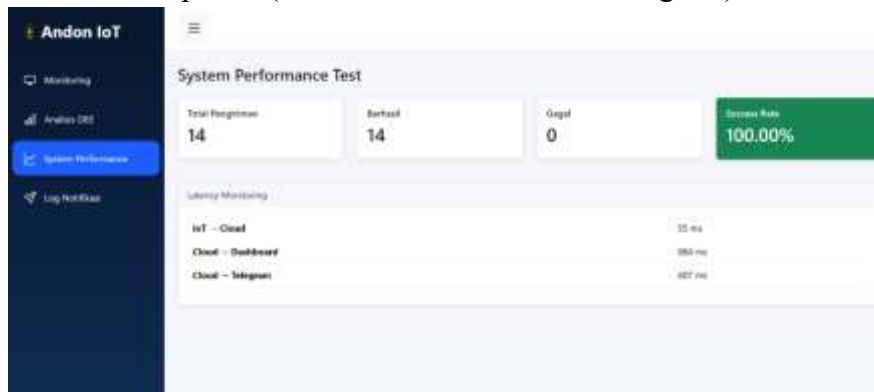
Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

2. Dashboard Analisis OEE — nilai Availability, Performance, Quality, OEE beserta Runtime, Downtime, Target/Output Produksi, dan Produk Defect, dengan filter mesin dan tanggal.



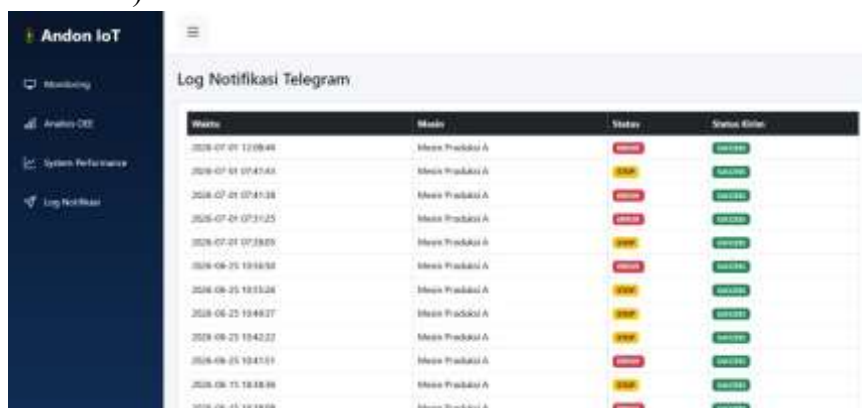
Gambar 3. Dashboard Analisis OEE
Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

3. Dashboard System Performance — jumlah pengiriman data, success rate, dan latency komunikasi antar-komponen (IoT, Laravel, dashboard, Telegram).



Gambar 4. Dashboard System Performance
Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

4. Dashboard Log Notifikasi Telegram — riwayat notifikasi (identitas mesin, status, pesan, waktu, status kirim) untuk verifikasi bahwa kondisi STOP/ERROR telah ditangani.



Gambar 5. Dashboard Log Notifikasi Telegram
Sumber: Hasil Implementasi Sistem (2026)

Implementasi Telegram

Notifikasi Telegram menyampaikan kondisi mesin secara otomatis ke bagian Maintenance dan SPV Produksi tanpa perlu memantau dashboard terus-menerus,

menggunakan Telegram Bot API yang diimplementasikan dalam TelegramService (dipisah dari Controller agar terstruktur).

Sistem hanya mengirim notifikasi saat status berubah menjadi STOP atau ERROR (event-based notification):

```
php
if ($request->status == 'ERROR' || $request->status == 'STOP') {
    $response = TelegramService::send($pesan);
}
```

Kode Program 4.6 Fungsi send()

```
php
public static function send($pesan)
{
    return Http::post(self::$url, [
        'chat_id' => self::$chatId,
        'text' => $pesan
    ]->json());
}
```

Fungsi ini mengirim chat_id dan text ke endpoint Telegram Bot API, lalu menyimpan hasil respons (berhasil/gagal) ke tabel telegram_logs sebagai riwayat yang ditampilkan pada Dashboard Log Telegram.

Implementasi Perhitungan OEE

Perhitungan OEE ditangani OeeService, mengolah data pada tabel produksi_harian (Runtime, Downtime, Planned Production Time, Target/Output Produksi, Produk Defect) secara otomatis setiap kali data diperbarui.

Availability — perbandingan Runtime terhadap total waktu operasi (Runtime + Downtime).

```
php
$totalTime = $produksi->runtime + $produksi->downtime;
$savailability = $totalTime > 0 ? ($produksi->runtime / $totalTime) * 100 : 0;
Performance — Output Produksi (dihitung otomatis dari Runtime ÷ Cycle time 35 detik)
```

dibanding Target Produksi.

```
php
$cycleTime = self::CYCLE_TIME;
$outputProduksi = floor($produksi->runtime / $cycleTime);
$performance = $produksi->target_produksi > 0 ? ($outputProduksi / $produksi->target_produksi) * 100 : 0;
```

Quality — perbandingan produk baik (Output – Defect) terhadap total Output.

```
php
$goodProduct = $outputProduksi - $produksi->produk_defect;
$quality = $outputProduksi > 0 ? ($goodProduct / $outputProduksi) * 100 : 0;
OEE — perkalian Availability × Performance × Quality, dibulatkan dengan round()
sebelum ditampilkan di Dashboard OEE.
```

```
php
```

$$Soee = (\$availability * \$performance * \$quality) / 10000;$$

Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap perangkat keras, proses monitoring status, komunikasi REST API, dashboard, notifikasi Telegram, dan perhitungan OEE, untuk memastikan kesesuaian dengan rancangan pada BAB III.

Tabel 7. Pengujian Perangkat Keras

No	Komponen	Skenario	Hasil	Status
1	NodeMCU ESP8266	Menghubungkan ke Wi-Fi	Berhasil terhubung	Berhasil
2	ACS712	Mendeteksi arus lampu Andon	Nilai arus terbaca	Berhasil
3	ADS1115	Membaca data analog ACS712	Data ADC sesuai	Berhasil
4	Lampu Andon	Mengaktifkan indikator	Status terbaca	Berhasil

Sumber: Hasil Pengujian Sistem (2026)

Tabel 8. Pengujian Status Mesin

Merah	Kuning	Hijau	Status Sistem	Hasil
OFF	OFF	OFF	OFF	Sesuai
ON	OFF	OFF	STOP	Sesuai
OFF	ON	OFF	IDLE	Sesuai
OFF	OFF	ON	RUNNING	Sesuai
ON	ON	OFF	ERROR	Sesuai

Sumber: Hasil Pengujian Sistem (2026)

Seluruh kombinasi lampu indikator berhasil diidentifikasi sesuai logika rancangan dan tersimpan dengan benar ke basis data.

Tabel 9. Pengujian REST API

Skenario	Hasil Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
Kirim status RUNNING	Data tersimpan	Berhasil	Berhasil
Kirim status STOP	Data tersimpan	Berhasil	Berhasil
Kirim status ERROR	Data tersimpan & Telegram aktif	Berhasil	Berhasil

Sumber: Hasil Pengujian Sistem (2026)

Tabel 10. Pengujian Dashboard

Fitur	Hasil Diharapkan	Hasil
Monitoring	Status tampil realtime	Berhasil
Grafik Status	Berubah otomatis	Berhasil
OEE	Nilai OEE tampil	Berhasil
System Performance	Latency tampil	Berhasil
Telegram Log	Riwayat tampil	Berhasil

Sumber: Hasil Pengujian Sistem (2026)

Tabel 11. Pengujian Telegram

Status Mesin	Notifikasi	Hasil
RUNNING	Tidak dikirim	Sesuai
IDLE	Tidak dikirim	Sesuai
STOP	Terkirim	Berhasil
ERROR	Terkirim	Berhasil

Sumber: Hasil Pengujian Sistem (2026)

Sistem berhasil mengirim notifikasi otomatis saat status STOP/ERROR, dan riwayatnya tersimpan pada telegram_logs untuk penelusuran.

Tabel 12. Pengujian Perhitungan OEE

Parameter	Nilai
Runtime	1988 detik
Downtime	973 detik
Availability	67,14%
Cycle Time	35 detik
Output Produksi	56 PCS
Performance	56,00%
Produk Defect	0 PCS
Quality	100,00%
OEE	37,60%

Sumber: Hasil Pengujian Sistem (2026)

Sistem berhasil menghitung seluruh parameter OEE secara otomatis dari data operasional yang tersimpan, menghasilkan nilai akhir OEE sebagai indikator efektivitas mesin produksi.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring status mesin produksi berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dibangun sesuai dengan rancangan yang telah dijelaskan pada BAB III. Seluruh komponen sistem, mulai dari perangkat keras, aplikasi berbasis Laravel, basis data, dashboard monitoring, hingga sistem notifikasi Telegram, mampu bekerja secara terintegrasi dalam mendukung proses pemantauan kondisi mesin produksi.

Implementasi sensor arus ACS712 yang dipadukan dengan modul ADS1115 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 mampu mendeteksi kondisi lampu indikator Andon dan mengubahnya menjadi informasi status mesin. Data tersebut dikirimkan ke aplikasi Laravel melalui protokol HTTP dan berhasil disimpan pada basis data sebagai data historis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan kondisi mesin dapat direkam secara otomatis sehingga informasi operasional mesin dapat dipantau secara real-time melalui dashboard berbasis web.

Selain menampilkan kondisi mesin, sistem juga berhasil mengimplementasikan perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) sebagai fitur analisis. Perhitungan dilakukan secara otomatis berdasarkan data Runtime, Downtime, Target Produksi, Output Produksi, dan Produk Defect yang tersimpan pada basis data. Pada penelitian ini, nilai Output Produksi dihitung menggunakan pendekatan Cycle time sebesar 35 detik per produk, sehingga sistem dapat memperkirakan jumlah produk yang dihasilkan berdasarkan lamanya mesin berada pada kondisi RUNNING. Pendekatan ini memungkinkan proses analisis tetap dapat dilakukan meskipun sistem belum terintegrasi secara langsung dengan sensor penghitung jumlah produk.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan nilai Availability, Performance, Quality, dan Overall Equipment Effectiveness (OEE) secara otomatis sesuai dengan algoritma yang diimplementasikan pada OeeService. Dengan adanya fitur tersebut, dashboard tidak hanya berfungsi sebagai media monitoring kondisi mesin, tetapi juga sebagai sarana evaluasi efektivitas penggunaan mesin berdasarkan data operasional yang diperoleh selama proses produksi.

Dari sisi komunikasi data, implementasi REST API pada Laravel memungkinkan proses pertukaran data antara perangkat IoT dan server berlangsung dengan baik. Data yang diterima oleh server dapat diproses secara otomatis untuk memperbarui status mesin, menghitung data produksi, memperbarui nilai OEE, serta menyimpan seluruh informasi ke dalam basis data. Selain itu, sistem juga berhasil mengirimkan notifikasi melalui Telegram Bot API ketika mesin berada pada kondisi STOP atau ERROR. Fitur ini membantu bagian Maintenance dalam mengetahui adanya gangguan mesin sehingga proses penanganan dapat dilakukan lebih cepat, sementara Supervisor Produksi (SPV) memperoleh informasi mengenai kondisi operasional mesin sebagai bahan pemantauan proses produksi.

Dashboard berbasis web yang dikembangkan menggunakan Laravel Framework berhasil menyajikan informasi secara terintegrasi melalui empat halaman utama, yaitu Dashboard Monitoring, Dashboard Analisis OEE, Dashboard System Performance, dan Dashboard Log Notifikasi Telegram. Pembagian fungsi tersebut memudahkan pengguna dalam memperoleh informasi sesuai kebutuhan, baik untuk pemantauan kondisi mesin, evaluasi efektivitas mesin, pengawasan performa sistem, maupun verifikasi aktivitas pengiriman notifikasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu membangun sistem monitoring status mesin produksi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan kondisi mesin secara real-time, menghitung nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) secara otomatis, serta mengirimkan notifikasi kepada Maintenance dan Supervisor Produksi (SPV) ketika terjadi kondisi yang memerlukan penanganan. Dengan demikian, sistem yang dibangun dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efektivitas proses monitoring mesin serta mendukung pengambilan keputusan berdasarkan data operasional yang diperoleh secara otomatis.

Meskipun sistem telah berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai rancangan, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Perhitungan Output Produksi masih menggunakan pendekatan Cycle time sehingga jumlah produk dihitung berdasarkan estimasi waktu operasi mesin dan belum menggunakan sensor penghitung produk secara langsung. Selain itu, pengujian sistem dilakukan pada lingkungan prototipe sehingga implementasi pada lingkungan industri dengan jumlah mesin yang lebih banyak masih memerlukan pengujian lanjutan. Keterbatasan tersebut dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan sistem dengan integrasi sensor penghitung produk, penerapan protokol komunikasi yang lebih efisien seperti MQTT, serta implementasi pada skala produksi yang lebih luas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, penelitian berjudul “Rancang Bangun Sistem IoT untuk Monitoring Status dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Mesin Produksi dengan Dashboard Analitik Berbasis Laravel” berhasil menghasilkan sistem monitoring terintegrasi yang mampu melakukan pembacaan kondisi mesin secara otomatis menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor pada sistem Andon, kemudian mengklasifikasikan kondisi mesin ke dalam lima status, yaitu Running, Idle, Stop, Error, dan OFF. Data status mesin dikirim melalui jaringan WiFi menggunakan komunikasi HTTP menuju server dan diproses oleh aplikasi Laravel untuk selanjutnya disimpan dalam basis data. Data tersebut dapat ditampilkan melalui dashboard yang menyediakan informasi

status mesin, indikator warna, grafik perubahan status, histori aktivitas, serta informasi pendukung lainnya sehingga memudahkan operator, maintenance, dan supervisor dalam memantau kondisi mesin. Sistem juga berhasil mengintegrasikan notifikasi Telegram yang secara otomatis memberikan informasi kepada bagian Maintenance dan Supervisor Produksi ketika terjadi kondisi STOP atau ERROR. Selain fungsi monitoring, sistem mampu melakukan perhitungan OEE berdasarkan komponen Availability, Performance, dan Quality, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis efektivitas proses produksi. Penyimpanan data secara terstruktur juga memungkinkan histori operasi, downtime, output produksi, gangguan, dan performa mesin digunakan kembali sebagai bahan analisis. Secara keseluruhan, integrasi perangkat IoT, jaringan komunikasi, server Laravel, basis data, dashboard analitik, Telegram, dan perhitungan OEE menghasilkan sistem digital yang dapat meningkatkan visibilitas kondisi mesin, mendukung dokumentasi data secara terstruktur, serta membantu pengambilan keputusan berbasis data dalam proses produksi.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem masih dapat dikembangkan agar memiliki kemampuan yang lebih optimal dan dapat diterapkan pada lingkungan produksi dengan skala yang lebih besar. Pengembangan selanjutnya disarankan mencakup penerapan sistem multi-mesin dengan penggunaan identitas atau mesin_id yang berbeda sehingga beberapa mesin dapat dipantau melalui satu dashboard terpusat. Akurasi pembacaan kondisi mesin juga perlu ditingkatkan melalui pengembangan dan kalibrasi sensor serta pengujian pada berbagai kondisi lingkungan produksi. Dashboard Laravel dapat dikembangkan dengan menambahkan grafik tren OEE harian, mingguan, dan bulanan, perbandingan performa antar mesin, analisis downtime, frekuensi error, serta penyebab downtime agar dapat berfungsi sebagai alat pendukung pengambilan keputusan. Sistem notifikasi Telegram juga dapat dikembangkan melalui pengaturan penerima berdasarkan peran pengguna serta penambahan informasi mengenai waktu kejadian, durasi gangguan, identitas mesin, dan status penanganannya. Dari sisi komunikasi, sistem perlu dilengkapi mekanisme penyimpanan sementara pada perangkat ketika koneksi WiFi terputus sehingga data dapat dikirim kembali setelah koneksi tersedia dan risiko kehilangan data dapat diminimalkan. Perhitungan OEE juga dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan data produksi secara langsung dari mesin, meliputi output produksi, produk cacat, waktu produksi, dan target produksi, sehingga perhitungan Availability, Performance, Quality, dan OEE menjadi lebih akurat. Selain itu, sistem dapat dikembangkan menuju infrastruktur berbasis cloud agar data dan dashboard dapat diakses dari lokasi yang berbeda dengan tetap memperhatikan keamanan jaringan dan perlindungan data. Pengembangan berikutnya juga perlu memperkuat aspek keamanan melalui penerapan autentikasi dan otorisasi berdasarkan hak akses, pengamanan API, validasi data, serta perlindungan komunikasi antara perangkat IoT dan server dari akses yang tidak diizinkan.

REFERENSI

- Adnyani, N. L. S. S., Kirana, G. B. C., & Abdulhakim, F. (2025). Perancangan sistem dashboard pemantau produktivitas secara real-time pada mesin CNC di PT X. *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 23(1), 1–10.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Ardianto, F., Eliza, E., & Saputra, R. (2019). Pendeteksi pemakaian beban listrik rumah tangga.

- Jurnal Surya Energy*. <https://doi.org/10.32502/jse.v4i1.1961>
- Arifianto, M. J. F., Nugroho, W., Cahya, K., & Hadi, A. (2025). Sistem andon produksi menggunakan LED matriks berbasis mikrokontroler ESP32, komunikasi LoRa dan dasbor Node-RED. *Technologic*, 16(1).
- Atmasani, D. (2025). Peran Internet of Things (IoT) terhadap peningkatan fleksibilitas sistem produksi industri dalam era Industri 4.0. *Jurnal Media Elektronik*, 1(2), 93–103.
- Corrales, L. D. C. N., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied Sciences*, 10(18). <https://doi.org/10.3390/app10186469>
- Delfianti, R., Tazayul, V. A., Mustaqim, B., Nusyura, F., & Harsito, C. (2025). Internet of Things (IoT)-based electrical power monitoring system for solar power plants using Telegram application. *Vokasi Unesa Bulletin of Engineering, Technology and Applied Science*. <https://doi.org/10.26740/vubeta.v2i3.39405>
- Febriyanto, R., Sukoco, L. P., Nugraha, A. A., Putra, A. Y. W., Arianto, I. E., Siswoyo, I. A., & Janata, A. D. P. (2025). *Rekayasa mesin masa depan: Desain, material, dan teknologi*. PT Bukuloka Literasi Bangsa.
- Khaidar, A. (2025). Integrasi teknologi Internet of Things dalam smart farming sebagai strategi digitalisasi pertanian menuju era Industri 4.0. *Improve*, 17(2), 34–40.
- Noor, Z., Safitriani, D., Nugroho, A. Y., Rahmad, I. F., Dayat, A. R., Fajri, R., Patty, H. W. M., Kemalaintan, N., Angriani, L., & Deta, B. (2025). *Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam industri*. CV Pustaka Inspirasi Minang.
- Pradana, A. W., & Rahmaniari, R. (2025). Analisis optimalisasi PLC mesin inject/produksi di PT. Ilham Prima Sakti. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3).
- Priatna, D. K. (2025). *Buku ajar manajemen operasi*.
- Purnamasisingrum, D. L., & Afdhal, A. F. (2023). Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) in determining productivity in semi-automatic semi-solid filling machines at PT X. *Jurnal Eduhealth*.
- Rajagukguk, G. H., & Widianono, A. (2025). Perancangan dan implementasi sistem monitoring mesin produksi berbasis lampu IoT dan web dashboard di PT XYZ. *Jurnal Minfo Polgan*. <https://doi.org/10.33395/jmp.v14i2.15413>
- Riza, M., Hartanto, S., Wenda, T., Muhida, R., Adesta, E. Y. T., Prabowo, H. A., Tampubolon, J., Yahya, I. N. D., & Arrasyid, R. (2026). *Sistem manufaktur cerdas: Inovasi, teknologi, dan strategi industri modern*. CV Edu Akademi.
- Rustiyana, R., Judijanto, L., Sami'un, D. C., & Wiliyanti, V. (2025). *Internet of Things: Pengenalan dan penerapan teknologi IoT*. PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Setiaji, A., Hendrawan, A., Christioko, B. V., & Huizen, L. M. (2025). Speech-driven visitor notification system using Telegram bot and voice activity detection for real-time retail applications. *International Journal of Artificial Intelligence and Science*. <https://doi.org/10.63158/IJAIS.v2i2.44>
- Sharma, R., Sharma, R., Prabha, Y. B., Rema Devi, S., Saxena, P., & Rajasanthosh Kumar, T. (2023). IoT monitoring lathe machine performance. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.300>
- Siregar, Z. H., Mubarak, A. A., Djuli, Y. S., Irwan, H., Bora, M. A., Merjani, A., Dermawan, A. A., Pakaya, F., & Edi, F. (2025). *Pengantar teknik mesin dan industri*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Sudradjat, B., Doni, F. R., & Lukman, A. M. (2025). Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam sistem pemantauan prediktif peralatan industri. *REMIK: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 9(4), 1233–1240.
- Thiro, Y., & Yuniur, K. (2025). Internet of Things (IoT) platform using web services-based the Laravel framework in wind turbines. *International Journal of Artificial Intelligence*

Research. <http://ijair.id>

- Wibowo, L., Wahyusari, R., Yuwono, T., & Shofia, A. (2024). IoT-based high-accuracy monitoring system for on-grid photovoltaic power system using NodeMCU ESP8266 and PZEM004T. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*. <https://doi.org/10.55981/j.mev.2024.823>
- Widodo, A., Anissa, T., & Mubarokah, I. (2024). Pemanfaatan teknologi Industrial Internet of Things (IIoT) untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas di industri manufaktur. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 2(9), 4098–4105.