

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KENDARAAN
MATERIAL BERBASIS IOT DENGAN BOX TAHAN AIR UNTUK MENDUKUNG
PROSES PRODUKSI MESIN PEMECAH BATU**

Yohan Nur Azizi¹, Zakiyah Amalia²

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan,
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

zakiyah_amalia@polinema.ac.id

ABSTRACT

The monitoring of material transport vehicles in stone crusher production is commonly performed manually, resulting in delays in information delivery, inaccuracies in vehicle records, and increased production downtime caused by late material supply. This study aimed to design and develop an Internet of Things (IoT)-based material vehicle monitoring system using an ESP32-CAM to support the stone crusher production process. The proposed system integrates two ultrasonic sensors to detect the direction of vehicle movement, an ESP32-CAM to capture vehicle images, a DHT11 sensor to monitor the temperature inside the enclosure, and the Telegram application to deliver real-time notifications and monitoring information. The research consisted of hardware and software design, system implementation, functional testing, and statistical analysis. Experimental data were analyzed using descriptive statistics and an Independent Samples t-test after satisfying the assumptions of normality and homogeneity to evaluate the effect of Wi-Fi network speed on data transmission time. The results showed that the developed system successfully detected incoming and outgoing vehicles with a 100% detection accuracy and automatically transmitted vehicle images and information to Telegram. The average data transmission time was 3.0139 s using a 10 Mbps Wi-Fi network and 1.7130 s using a 50 Mbps Wi-Fi network. Statistical analysis indicated that Wi-Fi network speed had a significant effect on data transmission time ($p < 0.05$). Furthermore, the implementation of the proposed system reduced production downtime caused by delayed material supply from 60 min to 10 min per day, representing an 83.33% reduction. These findings demonstrate that the developed IoT-based monitoring system improves vehicle recording accuracy, accelerates information delivery, and supports more efficient production operations in the stone crusher industry.

Keywords: *Internet of Things, ESP32-CAM, material vehicle monitoring, Telegram, production downtime, stone crusher.*

ABSTRAK

Proses monitoring kendaraan material pada industri mesin pemecah batu masih banyak dilakukan secara manual sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan

penyampaian informasi, kesalahan pendataan kendaraan, dan meningkatnya downtime akibat keterlambatan pasokan material. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring kendaraan material berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32-CAM untuk mendukung proses produksi mesin pemecah batu. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan dua sensor ultrasonik untuk mendeteksi arah kendaraan masuk dan keluar, ESP32-CAM untuk mengambil gambar kendaraan, sensor DHT11 untuk memantau kondisi suhu di dalam box, serta Telegram sebagai media pengiriman informasi dan notifikasi secara real-time. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, pengujian fungsional, serta analisis statistik menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas, uji homogenitas, dan *Independent Sample t-test* untuk menganalisis pengaruh kecepatan jaringan Wi-Fi terhadap waktu pengiriman data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kendaraan masuk dan keluar dengan tingkat keberhasilan 100% serta mengirimkan foto dan informasi kendaraan secara otomatis ke Telegram. Rata-rata waktu pengiriman data pada jaringan Wi-Fi 10 Mbps sebesar 3,0139 detik, sedangkan pada jaringan 50 Mbps sebesar 1,7130 detik. Hasil uji *Independent Sample t-test* menunjukkan bahwa kecepatan jaringan Wi-Fi berpengaruh signifikan terhadap waktu pengiriman data ($p < 0,05$). Selain itu, penerapan sistem monitoring mampu menurunkan potensi *downtime* produksi akibat keterlambatan pasokan material dari 60 menit menjadi 10 menit per hari atau sebesar 83,33%. Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan mampu meningkatkan ketepatan pendataan kendaraan, mempercepat penyampaian informasi, serta mendukung kelancaran proses produksi pada industri mesin pemecah batu.

Kata kunci: *Internet of Things*, ESP32-CAM, monitoring kendaraan material, Telegram, downtime, mesin pemecah batu.

A. Pendahuluan

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem monitoring menggunakan ESP32-CAM maupun sensor ultrasonik. Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem monitoring visual berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pengambilan gambar dan pengiriman

data melalui jaringan Wi-Fi secara *real-time* (Arrahma & Mukhaiyar, 2023). Penelitian lain memanfaatkan sensor ultrasonik dan ESP32-CAM untuk mendeteksi keberadaan kendaraan sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara otomatis (Auliya et al., 2023). Selain itu, sistem monitoring berbasis IoT juga telah dikembangkan untuk

menyampaikan informasi kendaraan secara *real-time* melalui jaringan internet (Susanti & Triyono, n.d.; Fikri et al., 2024; Hidayat et al., 2023). Telegram juga banyak dimanfaatkan sebagai media pengiriman notifikasi otomatis karena mudah diakses serta mampu mendukung komunikasi data secara cepat (Kusuma et al., 2023; Putra & Joko, 2024; Alie & Juman, 2024).

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada pendeteksian objek, pengiriman notifikasi, atau pemantauan kendaraan secara umum, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kendaraan material yang secara khusus diterapkan pada proses produksi mesin pemecah batu. Sistem yang dirancang tidak hanya mampu mendeteksi arah kendaraan masuk dan keluar menggunakan dua sensor ultrasonik serta mengirimkan foto kendaraan melalui ESP32-CAM dan Telegram secara *real-time*, tetapi juga dilengkapi fitur notifikasi *overload* kendaraan dan rekapitulasi kendaraan harian untuk mendukung pengelolaan distribusi material. Selain itu, penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan jaringan Wi-Fi terhadap waktu pengiriman data menggunakan

uji statistik serta mengevaluasi dampak penerapan sistem terhadap penurunan *downtime* produksi akibat keterlambatan pasokan material. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis sistem IoT, tetapi juga pada kontribusinya dalam meningkatkan efektivitas proses produksi.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong transformasi sistem monitoring pada berbagai sektor industri melalui pemanfaatan perangkat yang mampu berkomunikasi secara *real-time*. Implementasi teknologi ini memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara otomatis sehingga informasi operasional dapat diperoleh dengan lebih cepat, akurat, dan terdokumentasi secara digital. Pada sektor manufaktur, penerapan IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi proses produksi, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan berdasarkan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan (Ilamsyah et al., 2024; Simamora et al., 2025).

Pada industri mesin pemecah batu, kelancaran proses produksi sangat dipengaruhi oleh kontinuitas

pasokan material yang diangkut menggunakan kendaraan operasional. Aktivitas keluar masuk kendaraan perlu dipantau secara akurat untuk memastikan material tersedia sesuai kebutuhan produksi. Namun, proses pendataan kendaraan di lapangan umumnya masih dilakukan secara manual menggunakan buku pencatatan atau formulir sehingga memerlukan waktu lebih lama, berpotensi menimbulkan *human error*, dan menyulitkan proses rekapitulasi data. Kondisi tersebut menyebabkan keterlambatan penyampaian informasi yang dapat menghambat distribusi material dan meningkatkan risiko *downtime* produksi.

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT menggunakan ESP32-CAM, sensor ultrasonik, maupun aplikasi Telegram sebagai media pengiriman informasi secara *real-time* (Fikri et al., 2024; Hidayat et al., 2023; Kusuma et al., 2023; Rasyidan et al., 2024). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada fungsi pendeteksian objek atau pengiriman notifikasi tanpa mengaitkan kinerja sistem terhadap efektivitas proses produksi. Selain itu,

masih terbatas penelitian yang mengevaluasi pengaruh kualitas jaringan Wi-Fi terhadap waktu pengiriman data pada sistem monitoring kendaraan material yang diterapkan pada lingkungan industri.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kendaraan material berbasis IoT menggunakan ESP32-CAM yang dipadukan dengan dua sensor ultrasonik untuk mendeteksi arah kendaraan masuk dan keluar, sensor DHT11 untuk memantau kondisi lingkungan di dalam *enclosure*, serta aplikasi Telegram sebagai media penyampaian informasi secara *real-time*. Sistem dirancang untuk melakukan pendeteksian kendaraan, pengambilan gambar secara otomatis, serta pengiriman data monitoring kepada operator sehingga proses pengawasan distribusi material dapat dilakukan secara lebih efektif.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kendaraan material berbasis IoT serta menganalisis pengaruh kecepatan jaringan Wi-Fi terhadap waktu pengiriman data monitoring. Selain itu, penelitian ini

juga mengevaluasi kontribusi sistem terhadap peningkatan ketepatan pendataan kendaraan dan penurunan *downtime* produksi akibat keterlambatan pasokan material. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif solusi monitoring kendaraan yang lebih efisien serta mendukung kelancaran proses produksi pada industri mesin pemecah batu.

B. Metode Penelitian

Kalibrasi sensor merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum pengujian sistem untuk memastikan bahwa sensor ultrasonik dan sensor DHT11 memiliki tingkat akurasi yang baik. Hasil kalibrasi digunakan sebagai acuan bahwa sensor mampu memberikan data yang sesuai dengan kondisi aktual sehingga dapat mendukung kinerja sistem monitoring.

Kalibrasi Sensor

Tabel 1. Pengujian kalibrasi sensor ultrasonik

Jarak Aktual	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata Hasil Sensor	Error (cm)	Error (%)
10 cm	10,0	10,0	10,0	10,0	0,00	0,00%
15 cm	15,0	15,0	14,0	14,67	0,33	2,20%
20 cm	21,0	20,0	20,0	20,33	0,33	1,67%
25 cm	25,0	25,0	26,0	25,33	0,33	1,33%

Contoh Perhitungan Presentase error untuk jarak aktual 20 cm:

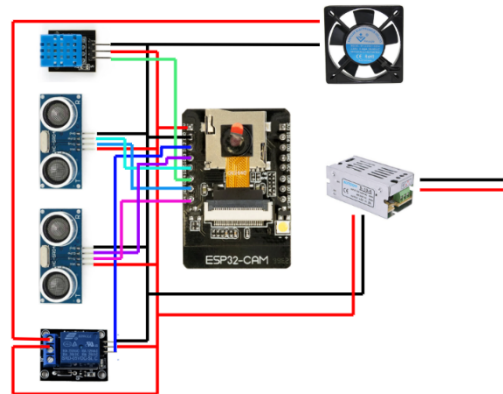
$$\text{Error}(\%) = \frac{0,33}{20} \times 100\% = 1,67\%$$

Tabel 2. Hasil Uji Kalibrasi Sensor DHT11

Suhu Termometer (°C)	Uji 1 (°C)	Uji 2 (°C)	Uji 3 (°C)	Rata-rata (°C)	Error (°C)	Error (%)	Keterangan
26,00	26,00	27,00	26,00	26,33	0,33	1,27	Baik
27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	0,00	0,00	Baik
28,00	28,00	28,00	29,00	28,33	0,33	1,19	Baik
29,00	29,00	29,00	30,00	29,33	0,33	1,15	Baik

Contoh Perhitungan Persentase error pada suhu 26°C:

$$\text{Error}(\%) = \frac{0,33}{26} \times 100\% = 1,27\%$$



Gambar.1 Skematik Rangkaian

Gambar 1. menunjukkan skematik rangkaian sistem monitoring kendaraan material berbasis IoT. ESP32-CAM berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data dari dua sensor ultrasonik untuk mendeteksi arah kendaraan serta sensor DHT11 untuk memantau suhu di dalam perangkat. Relay digunakan untuk mengendalikan exhaust fan secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor DHT11, sedangkan catu daya (*power supply*) menyediakan tegangan untuk seluruh komponen. Seluruh data hasil deteksi diproses oleh ESP32-CAM dan dikirimkan ke aplikasi Telegram

melalui jaringan Wi-Fi secara real-time.

Penelitian ini menggunakan metode engineering development dengan pendekatan eksperimen untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring kendaraan material berbasis *Internet of Things* (IoT). Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan alat, implementasi program, pengujian sistem, serta analisis data hasil pengujian. Pengujian dilakukan pada simulasi proses distribusi material di lingkungan produksi mesin pemecah batu.

Sistem monitoring dikembangkan menggunakan ESP32-CAM sebagai pengendali utama sekaligus perangkat pengambilan gambar. Dua sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi arah pergerakan kendaraan berdasarkan urutan aktivasi sensor sehingga sistem dapat membedakan kendaraan yang masuk dan keluar area produksi. Sensor DHT11 digunakan untuk memantau suhu di dalam *enclosure*, sedangkan relay mengendalikan *exhaust fan* secara otomatis ketika suhu melebihi batas

yang telah ditentukan. Seluruh informasi kendaraan, termasuk foto, waktu deteksi, dan status kendaraan, dikirimkan ke aplikasi Telegram melalui jaringan Wi-Fi secara *real-time*.

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem berdasarkan beberapa parameter, yaitu tingkat keberhasilan deteksi kendaraan, keberhasilan pengiriman foto dan notifikasi ke Telegram, serta waktu pengiriman data. Pengaruh kecepatan jaringan Wi-Fi terhadap waktu pengiriman data dianalisis menggunakan dua kondisi jaringan, yaitu 10 Mbps dan 50 Mbps. Selain itu, dilakukan pengujian ketepatan pendataan kendaraan masuk dan keluar serta evaluasi penerapan sistem terhadap penurunan *downtime* produksi akibat keterlambatan pasokan material. Setiap kondisi pengujian dilakukan secara berulang agar diperoleh data yang representatif.

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan Minitab 21. Tahap analisis diawali dengan statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data, kemudian dilanjutkan dengan uji normalitas menggunakan Anderson–Darling dan

uji homogenitas varians. Setelah seluruh asumsi terpenuhi, dilakukan Independent Samples *t*-test untuk mengetahui pengaruh kecepatan jaringan Wi-Fi terhadap waktu pengiriman data sistem monitoring. Hasil analisis selanjutnya diinterpretasikan untuk mengevaluasi performa sistem yang dikembangkan dalam mendukung proses monitoring kendaraan material secara *real-time*.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Kinerja Sistem Monitoring

Kendaraan Material

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem monitoring kendaraan material berbasis Internet of Things (IoT) dalam mendeteksi kendaraan, mengirimkan data ke aplikasi Telegram, serta mendukung proses monitoring secara *real-time*. Pengujian dilaksanakan pada kondisi operasional yang sama dengan beberapa kali pengulangan untuk memperoleh data yang konsisten. Parameter yang diamati meliputi tingkat keberhasilan deteksi kendaraan, waktu pengiriman data, dan kestabilan sistem selama proses pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 40 kali percobaan yang terdiri atas 20 kendaraan masuk dan 20 kendaraan keluar, sistem monitoring berhasil mendeteksi seluruh kendaraan sesuai dengan kondisi aktual. Tidak ditemukan kesalahan identifikasi arah kendaraan maupun kegagalan pengiriman informasi selama proses pengujian. Dengan demikian, tingkat keberhasilan deteksi kendaraan yang diperoleh sistem mencapai 100%, sehingga menunjukkan bahwa integrasi dua sensor ultrasonik dengan ESP32-CAM mampu bekerja secara akurat dan konsisten dalam melakukan monitoring kendaraan material. Tabel 1. Hasil Pengujian Kinerja Sistem Monitoring Kendaraan Material

Akurasi (%)

$$= \frac{\text{Jumlah kendaraan terdeteksi dengan benar}}{\text{Jumlah kendaraan aktual}} \times 100\% = \frac{40}{40} \times 100\% = 100\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh kendaraan yang melintas berhasil dideteksi oleh sistem tanpa terjadi kehilangan data maupun kesalahan pencatatan. Penggunaan dua sensor ultrasonik memungkinkan sistem mengenali arah kendaraan berdasarkan urutan aktivasi sensor

sehingga proses pencatatan kendaraan masuk dan keluar dapat dilakukan secara otomatis. Dibandingkan dengan pencatatan manual yang bergantung pada operator, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan ketepatan pendataan kendaraan dan menyediakan informasi secara real-time sebagai pendukung proses produksi.

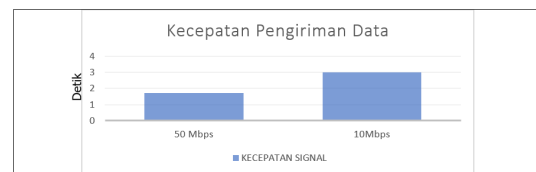
Selain mengevaluasi kemampuan deteksi kendaraan, penelitian ini juga menganalisis waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengirimkan informasi menuju aplikasi Telegram. Pengujian dilakukan menggunakan dua kondisi jaringan Wi-Fi, yaitu 10 Mbps dan 50 Mbps, untuk mengetahui pengaruh kecepatan jaringan terhadap respons sistem.

Tabel 3. Pengujian Kecepatan Sinyal

No. Pengujian	10 Mbps (detik)	50 Mbps (detik)
1	2,845	1,548
2	2,913	1,603
3	2,974	1,657
4	3,028	1,712
5	3,081	1,768
6	2,956	1,824
7	3,114	1,879
8	3,085	1,789
9	2,988	1,690
10	3,155	1,656

Berdasarkan hasil pengujian waktu pengiriman data pada kedua variasi kecepatan jaringan Wi-Fi, diperoleh bahwa rata-rata waktu

pengiriman pada jaringan 10 Mbps sebesar 3,0139 detik, sedangkan pada jaringan 50 Mbps sebesar 1,7126 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan jaringan Wi-Fi mampu mempercepat proses pengiriman data dari ESP32-CAM ke aplikasi Telegram. Selisih rata-rata waktu pengiriman sebesar 1,3013 detik mengindikasikan bahwa kualitas koneksi internet menjadi salah satu faktor yang memengaruhi performa sistem monitoring kendaraan material berbasis IoT.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Waktu Pengiriman Data pada Kecepatan Wi-Fi 10 Mbps dan 50 Mbps

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa peningkatan kecepatan jaringan memberikan pengaruh terhadap waktu pengiriman informasi. Pada jaringan Wi-Fi 10 Mbps, rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirimkan foto beserta informasi kendaraan adalah 3,0139 detik. Sementara itu, pada jaringan Wi-Fi 50 Mbps, rata-rata waktu

pengiriman menurun menjadi 1,7130 detik. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa jaringan dengan kapasitas bandwidth yang lebih tinggi mampu mempercepat proses komunikasi data antara ESP32-CAM dan server Telegram sehingga informasi dapat diterima pengguna dalam waktu yang lebih singkat.

Penurunan waktu pengiriman data terjadi karena meningkatnya kemampuan jaringan dalam mentransmisikan paket data yang dihasilkan oleh ESP32-CAM. Berkas gambar yang dikirimkan memiliki ukuran lebih besar dibandingkan data teks sehingga memerlukan kapasitas transmisi yang memadai. Ketika sistem menggunakan jaringan 50 Mbps, proses pengunggahan gambar berlangsung lebih cepat dibandingkan pada jaringan 10 Mbps. Kondisi ini berdampak langsung pada peningkatan respons sistem, terutama ketika digunakan pada lingkungan industri yang memerlukan informasi secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa seluruh data berhasil dikirim ke Telegram tanpa kehilangan paket data (*packet loss*) maupun kegagalan komunikasi

selama pengujian berlangsung. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat stabilitas komunikasi yang baik selama koneksi internet tersedia. Dengan demikian, sistem tidak hanya mampu melakukan deteksi kendaraan secara akurat, tetapi juga dapat menyampaikan informasi hasil deteksi secara konsisten kepada pengguna.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring kendaraan material yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menyediakan proses monitoring yang berlangsung secara otomatis, memiliki tingkat keberhasilan deteksi yang tinggi, serta mampu mengirimkan informasi secara *real-time*. Perbedaan waktu pengiriman data pada kedua kondisi jaringan juga memberikan indikasi awal bahwa kecepatan Wi-Fi merupakan faktor yang memengaruhi performa sistem. Oleh karena itu, diperlukan analisis statistik lebih lanjut untuk mengetahui apakah perbedaan tersebut signifikan secara statistik. Analisis tersebut disajikan pada subbab berikutnya menggunakan metode Independent Samples *t*-test sehingga pengaruh kecepatan

jaringan terhadap waktu pengiriman data dapat dibuktikan secara ilmiah.

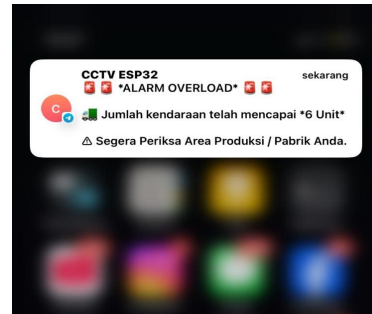
Aplikasi Telegram digunakan sebagai media monitoring untuk menampilkan hasil deteksi kendaraan secara *real-time*. Setiap kendaraan yang terdeteksi akan dikirimkan dalam bentuk foto beserta informasi waktu deteksi, status kendaraan masuk atau keluar, dan jumlah kendaraan yang berada di area produksi. Selain itu, sistem juga mengirimkan notifikasi *overload* ketika jumlah kendaraan mencapai batas maksimum serta rekapitulasi jumlah kendaraan masuk dan keluar secara otomatis pada akhir periode pengamatan.



Gambar 3. Hasil Pengiriman ke telegram

Pada gambar 3 menunjukan bagaimana hasil pengiriman ESP32-CAM ke telegram yang berfungsi

untuk monitoring pendataan agar memperkecil kesalahan pendataan.



Gambar 4. Notifikasi Overload

Berdasarkan Gambar 4., sistem berhasil mengirimkan notifikasi *overload* secara otomatis ketika jumlah kendaraan di area produksi mencapai batas maksimum yang telah ditentukan, yaitu enam kendaraan. Notifikasi tersebut memberikan informasi kepada operator agar segera melakukan pengaturan kendaraan sehingga potensi penumpukan dapat dikurangi.



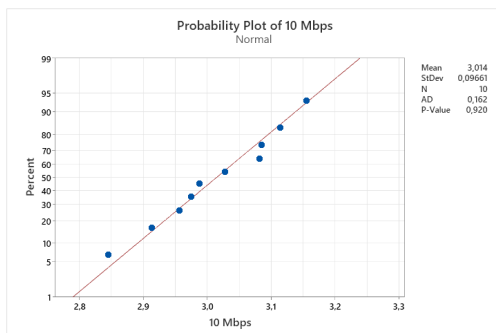
Gambar 5. Pengiriman Rekap Harian Kendaraan

Berdasarkan Gambar 5, sistem berhasil mengirimkan rekap harian

kendaraan secara otomatis melalui aplikasi Telegram pada waktu yang telah dijadwalkan. Rekap tersebut menunjukkan jumlah kendaraan masuk sebanyak 43 kendaraan dan jumlah kendaraan keluar sebanyak 43 kendaraan, sehingga seluruh aktivitas kendaraan selama satu hari dapat dipantau dan terdokumentasi dengan baik.

Analisis Pengaruh Kecepatan Jaringan Wi-Fi terhadap Waktu Pengiriman Data

Uji Normalitas

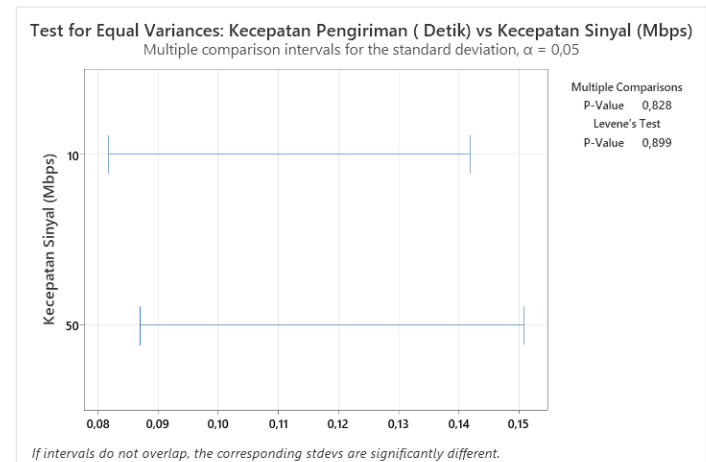


Gambar 6. Output Uji Normalitas Menggunakan Minitab 21

Berdasarkan Gambar 6, nilai p-value pada masing-masing kelompok lebih besar dari 0,05, sehingga data waktu pengiriman pada jaringan Wi-Fi 10 Mbps maupun 50 Mbps berdistribusi normal. Dengan demikian, asumsi normalitas telah terpenuhi sehingga analisis dapat dilanjutkan menggunakan metode *Independent Samples t-test*. Distribusi

data yang normal menunjukkan bahwa hasil pengujian memiliki pola penyebaran yang sesuai dengan asumsi statistik parametrik sehingga hasil analisis dapat dipercaya.

Uji Homogenitas Varians



Gambar 7. Output Uji Homogenitas Varians Menggunakan Minitab 21

Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa nilai p-value lebih besar dari 0,05, sehingga varians kedua kelompok dapat dianggap homogen. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penyebaran data pada kedua kelompok relatif seragam sehingga salah satu asumsi utama dalam penerapan *Independent Samples t-test* telah terpenuhi. Kesamaan varians ini meningkatkan keandalan hasil analisis statistik karena perbedaan rata-rata yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh perbedaan penyebaran data.

Independent Samples t-Test

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
29,19	17	0,000

Gambar 8. Output Independent Samples t-Test Menggunakan Minitab 21

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai p-value lebih kecil dari 0,05, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada waktu pengiriman data antara penggunaan jaringan Wi-Fi 10 Mbps dan 50 Mbps. Dengan demikian, kecepatan jaringan terbukti memberikan pengaruh terhadap performa sistem monitoring kendaraan material berbasis IoT.

Perbedaan rata-rata waktu pengiriman sebesar 1,3009 detik menunjukkan bahwa penggunaan jaringan Wi-Fi dengan bandwidth yang lebih tinggi mampu meningkatkan respons sistem dalam mengirimkan informasi ke Telegram. Bagi implementasi di lingkungan industri, penurunan waktu respons ini memberikan keuntungan karena informasi mengenai kedatangan

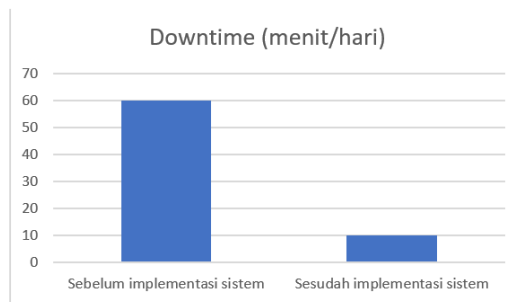
kendaraan dapat diterima operator lebih cepat, sehingga koordinasi distribusi material menjadi lebih efektif dan potensi keterlambatan proses produksi dapat diminimalkan.

Pengaruh Implementasi Sistem Monitoring terhadap Efisiensi Proses Produksi

Selain meningkatkan proses monitoring kendaraan, penelitian ini juga mengevaluasi dampak penerapan sistem terhadap efisiensi proses produksi, khususnya dalam mengurangi *downtime* yang disebabkan oleh keterlambatan informasi distribusi material. Sebelum sistem diterapkan, pencatatan kendaraan dilakukan secara manual sehingga operator harus mengamati kendaraan yang datang, mencatat waktu kedatangan, serta menyampaikan informasi kepada bagian produksi. Proses tersebut membutuhkan waktu yang relatif lama dan berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam penyediaan material sehingga aktivitas produksi tidak dapat berjalan secara optimal.

Setelah sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) diterapkan, seluruh proses pendeteksian kendaraan dilakukan secara otomatis. Setiap kendaraan

yang memasuki area produksi langsung dideteksi oleh sensor ultrasonik, kemudian ESP32-CAM mengambil gambar kendaraan dan mengirimkan informasi melalui aplikasi Telegram secara *real-time*. Mekanisme ini memungkinkan operator memperoleh informasi mengenai kedatangan kendaraan tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung sehingga proses koordinasi distribusi material dapat dilakukan lebih cepat.



Gambar 9. Grafik Perbandingan *Downtime* Produksi Sebelum dan Sesudah Implementasi Sistem

Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa penerapan sistem monitoring memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan *downtime* produksi. Sebelum implementasi sistem, rata-rata *downtime* akibat keterlambatan informasi distribusi material mencapai 60 menit per hari. Setelah sistem diterapkan, nilai tersebut menurun menjadi 10 menit per hari, sehingga terjadi penurunan

sebesar 50 menit atau 83,33%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempercepat penyampaian informasi mengenai kedatangan kendaraan sehingga proses persiapan material dapat dilakukan lebih awal dan waktu tunggu produksi menjadi lebih singkat.

Waktu produksi efektif: $600 - 60 = 540$ menit
Produksi efektif: $540 \times 0,267 = 144,0$ m³
Sesudah Sistem Monitoring Waktu produksi efektif: $600 - 10 = 590$ menit
Produksi efektif: $590 \times 0,267 = 157,3$ m³
Penurunan Downtime $60 - 10 = 50$ menit
Persentase penurunan downtime $\frac{50}{60} \times 100\% = 83,33\%$
Potensi Peningkatan Produksi $157,3 - 144 = 13,3$ m³
Persentase peningkatan $\frac{13,3}{144} \times 100\% = 9,24\%$

Penurunan *downtime* tersebut terjadi karena informasi kendaraan dapat diterima secara langsung setelah proses deteksi dilakukan. Berbeda dengan sistem manual yang bergantung pada operator, sistem yang dikembangkan bekerja secara otomatis mulai dari pendeteksian kendaraan, pengambilan gambar, hingga pengiriman informasi melalui jaringan internet. Dengan demikian, setiap perubahan kondisi di lapangan dapat segera diketahui oleh operator

maupun bagian produksi sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih cepat.

Selain mempercepat penyampaian informasi, sistem juga meningkatkan ketepatan pendataan kendaraan. Seluruh kendaraan yang melintas berhasil dicatat secara otomatis beserta waktu deteksi dan dokumentasi berupa gambar kendaraan. Data tersebut dapat digunakan sebagai arsip digital yang memudahkan proses pelacakan apabila terjadi perbedaan antara jumlah kendaraan yang masuk dengan kebutuhan material pada proses produksi. Dokumentasi digital juga mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan pencatatan (*human error*) yang sering ditemukan pada sistem manual.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam mendeteksi kendaraan, tetapi juga oleh integrasi komunikasi data secara *real-time*. Informasi yang diterima melalui Telegram memungkinkan operator segera melakukan koordinasi dengan bagian produksi tanpa harus menunggu laporan manual dari petugas lapangan. Kondisi tersebut

memberikan dampak langsung terhadap kelancaran distribusi material dan mengurangi waktu tunggu yang dapat menghambat proses produksi.

Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa penerapan teknologi IoT memberikan manfaat yang lebih luas dibandingkan hanya sebagai sistem monitoring. Sistem yang dikembangkan mampu mendukung proses pengambilan keputusan operasional melalui penyediaan informasi yang cepat, akurat, dan terdokumentasi secara otomatis. Dengan adanya informasi yang diterima secara *real-time*, perusahaan dapat mengoptimalkan proses distribusi material sehingga kontinuitas produksi tetap terjaga.

Hasil penelitian ini juga memperkuat temuan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa implementasi sistem monitoring berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi operasional melalui otomatisasi proses pengumpulan dan penyampaian informasi. Namun demikian, penelitian ini memiliki kontribusi yang berbeda karena tidak hanya mengevaluasi performa perangkat dari sisi teknis, tetapi juga mengukur dampak implementasi

sistem terhadap indikator operasional berupa penurunan *downtime* produksi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring kendaraan material berbasis ESP32-CAM tidak hanya layak diterapkan sebagai media pemantauan kendaraan, tetapi juga dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi proses produksi pada industri mesin pemecah batu.

Secara keseluruhan, hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan mampu memenuhi tujuan penelitian, yaitu meningkatkan akurasi pendataan kendaraan, mempercepat pengiriman informasi, serta menurunkan *downtime* produksi melalui penyediaan data secara *real-time*. Dengan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100%, rata-rata waktu pengiriman data hingga 1,7130 detik pada jaringan Wi-Fi 50 Mbps, serta penurunan *downtime* sebesar 83,33%, sistem ini memiliki potensi untuk diimplementasikan pada lingkungan industri yang memerlukan proses monitoring kendaraan secara cepat, akurat, dan berkelanjutan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem monitoring kendaraan material berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM, dua sensor ultrasonik, sensor DHT11, dan aplikasi Telegram berhasil dikembangkan serta mampu mendeteksi kendaraan masuk dan keluar secara otomatis dengan tingkat keberhasilan 100%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan jaringan Wi-Fi berpengaruh signifikan terhadap waktu pengiriman data, dengan rata-rata waktu pengiriman sebesar 3,0139 detik pada jaringan 10 Mbps dan 1,7130 detik pada jaringan 50 Mbps. Uji *Independent Samples t-test* menghasilkan *p-value* < 0,05 yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua kondisi jaringan.

Implementasi sistem mampu meningkatkan efektivitas monitoring kendaraan melalui penyampaian informasi secara *real-time*, sehingga proses pencatatan menjadi lebih cepat, akurat, dan terdokumentasi secara otomatis. Selain itu, penerapan sistem memberikan dampak positif terhadap proses produksi dengan menurunkan *downtime* akibat

keterlambatan distribusi material dari 60 menit menjadi 10 menit per hari atau sebesar 83,33%. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi monitoring kendaraan material yang efektif untuk mendukung kelancaran proses produksi pada industri mesin pemecah batu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrahma, S. A., & Mukhaiyar, R. (2023). Pengujian ESP32-CAM Berbasis Mikrokontroler ESP32. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 60–66.
- Auliya, K., Yusfi, M., & Rasyid, R. (2023). Sistem Pemantauan Slot Parkir Menggunakan Sensor Ultrasonik JSN-SR04T dan Pengenalan Plat Nomor Kendaraan dengan ESP32CAM. *Jurnal Fisika Unand*, 12(4), 534–540.
- Susanti, E., & Triyono, J. Prototype Alat IoT (Internet of Things) untuk Pengendali dan Pemantau Kendaraan Secara Realtime. *Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta*.
- Fikri, M. A., Nugroho, A., & Saputra, D. (2024). Sistem Monitoring Kendaraan Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP32-CAM untuk Pemantauan Kendaraan Secara Real-Time. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 15(2), 112–120.
- Hidayat, R., Prasetyo, A., & Wijaya, Y. (2023). Implementasi Sistem Monitoring Kendaraan Berbasis Internet of Things pada Area Industri Menggunakan ESP32-CAM. *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Kristen Wira Wacana*, 2(1), 145–152.
- Kusuma, H. A., Wijaya, S. B., & Nusyirwan, D. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Real-Time Menggunakan ESP32-CAM dan Telegram. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 8(1), 35–43.
- Kirana, C. A. P., Yusro, M., & Djatmiko, W. (2023). Sistem Keamanan Sepeda Motor Menggunakan Aplikasi Smartphone Android Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP32CAM dan Modul ESP32. *Risenologi*, 8(2).
- Imamah, N., Sutiyono, & Reynaldi, A. (2021). Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Keamanan Toko Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Menggunakan Mikrokontroler ESP32-CAM. *Computing: Jurnal Informatika*, 9(2).
- Ilamsyah, Kusumah, H., Astriyani, E., & Taufik, M. I. (2024). An ESP32-Based IoT System for Blind Spot Detection in Logistics Vehicles. *Journal Sensi: Strategic of Education in Information System*, 11(2).
- Sejati, B. U., Triyo, H., & Sobur, S. (2024). Sistem Pemantauan Gudang Berbasis ESP32-CAM untuk Deteksi Gerakan dan Keberadaan Objek. *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informatika dan Komputer*, 15(2), 356–361.
- Putra, D. R. R. P., & Joko. (2024). Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU

- ESP32 dan Telegram. *Jurnal Teknik Elektro*, 13(3), 248–255. <https://doi.org/10.26740/jte.v13n3.p248-255>
- Alie, F., & Juman, K. K. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Home Security Berbasis Internet of Things dengan Menggunakan Telegram sebagai Kontrol. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 3(1), 717–724.
- Kusuma, H. A., Wijaya, S. B., & Nusyirwan, D. (2023). Sistem Keamanan Rumah Berbasis ESP32-CAM dan Telegram sebagai Notifikasi. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 8(1).
- Affandy, A. L., Zuhriyah, S., Karaeng, A., & Suparno, I. W. (2025). Sistem Keamanan Lemari Menggunakan ESP32-CAM dan Notifikasi Telegram Berbasis IoT. *Jurnal IT*, 15(3).
- Octavia, E., Dijaya, R., Eviyanti, A., & Azizah, N. L. (2024). Rancangan Bangun Sistem Keamanan Rumah Kost Berbasis IoT dengan ESP32-CAM. *Indonesian Journal of Applied Technology*, 1(3).
- Prdana, R. M. (2026). Perancangan dan Implementasi Kipas Angin Otomatis Berbasis ESP32 dan DHT11 untuk Pengendalian Suhu Ruangan. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 14(2).
- Rasyidan, M., Ratna, S., Arafat, & Wagino. (2024). Smart Bel Berbasis Artificial Intelligence (AI) Menggunakan ESP32-CAM dan Telegram. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 15(4).
- Manullang, E. V., & Rumere, S. (2024). Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Menggunakan Sensor PIR dan ESP32-CAM. *Jurnal Teknologi Informasi*, 12(1), 9–15.
- Simamora, A. M., Denih, A., & Suriansyah, M. I. (2025). Indoor Air Quality Detection Robot Model Based on the Internet of Things (IoT). *arXiv Preprint*.