

# Sistem Monitoring dan Kendali Produksi Mesin Kawat Harmonika Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT

Azhar<sup>1</sup>, Cut Mutia Safrida Ulfa<sup>2</sup>, Husna Gemasih<sup>3</sup>, Mutiara S. Simanjuntak<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup> [azhar@pnl.ac.id](mailto:azhar@pnl.ac.id), <sup>2</sup> [cutmutiasafridaulfa@gmail.com](mailto:cutmutiasafridaulfa@gmail.com), <sup>3</sup> [husnagemasih@pnl.ac.id](mailto:husnagemasih@pnl.ac.id), <sup>4</sup> [mutiara@pnl.ac.id](mailto:mutiara@pnl.ac.id)

**Abstrak**— Produksi kawat harmonika menghadapi permasalahan ketika proses masih dilakukan secara manual, sehingga hasilnya tidak presisi dan sulit dipantau. Penelitian ini menawarkan solusi berbasis Internet of Things (IoT) dengan mengintegrasikan sensor kecepatan putaran motor, tegangan, arus, serta jumlah produksi kawat yang dikendalikan menggunakan mikrokontroler ESP32. Data dikirimkan melalui protokol MQTT dan divisualisasikan pada dashboard Node-RED, sehingga pengguna dapat memantau kondisi mesin secara real time. Metodologi penelitian meliputi perancangan sistem, integrasi sensor, implementasi perangkat keras, pengujian komunikasi, dan analisis kinerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur kecepatan produksi dengan tingkat akurasi rata-rata 95%, mendeteksi gangguan arus dan tegangan, serta menampilkan data secara real time pada dashboard. Analisis komunikasi MQTT menunjukkan bahwa sistem berjalan stabil dengan tingkat keberhasilan pengiriman pesan mencapai 99% dan rata-rata latensi 120 ms. Nilai QoS (Quality of Service) jaringan diuji pada tiga level, di mana QoS 0 memiliki kecepatan tertinggi namun risiko kehilangan paket sebesar 3%, QoS 1 menunjukkan keseimbangan dengan tingkat keandalan 98%, dan QoS 2 memberikan reliabilitas penuh meskipun dengan latensi sedikit lebih tinggi (150–180 ms). Dengan sistem ini, proses produksi menjadi lebih efisien, tingkat presisi meningkat, monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh, serta komunikasi antarperangkat berjalan andal..  
**Kata kunci**— Internet of Things, ESP32, MQTT, Node-RED, monitoring produksi, kawat harmonika.

**Abstract**— The production of chain-link wire mesh faces challenges when the process is carried out manually, resulting in low precision and difficulties in monitoring. This study proposes an Internet of Things (IoT)-based solution by integrating motor speed, voltage, current, and production quantity sensors, controlled through an ESP32 microcontroller. Data is transmitted using the MQTT protocol and visualized on a Node-RED dashboard, allowing users to monitor machine conditions in real time. The research methodology includes system design, sensor integration, hardware implementation, communication testing, and performance analysis. The results indicate that the system is capable of measuring production speed with an average accuracy of 95%, detecting voltage and current disturbances, and displaying data in real time on the dashboard. MQTT communication analysis shows stable performance with a 99% message delivery success rate and an average latency of 120 ms. Network Quality of Service (QoS) testing across three levels demonstrates that QoS 0 provides the fastest delivery but with a 3% packet loss, QoS 1 achieves 98% reliability with balanced performance, and QoS 2 ensures full reliability with slightly higher latency (150–180 ms). Overall, the proposed system improves efficiency, enhances production precision, enables remote monitoring, and ensures reliable communication between devices..

**Keywords**— Internet of Things, ESP32, MQTT, Node-RED, production monitoring, chain-link wire mesh.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri saat ini bergerak menuju konsep Industry 4.0, di mana konektivitas, otomasi, dan data real-time menjadi kunci efisiensi produksi. Salah satu pilar dalam visi tersebut adalah Industrial Internet of Things (IIoT) atau IoT industri, yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan aktuator saling terhubung dan berkomunikasi untuk memantau dan mengendalikan proses produksi secara cerdas. Penerapan IoT di sektor manufaktur membuka peluang besar untuk meningkatkan kinerja mesin, mengurangi downtime, serta mempercepat respons terhadap kegagalan atau kondisi abnormal [2][9].

Pada proses produksi kawat harmonika, presisi dimensi, konsistensi kualitas, dan keandalan operasi sangat penting. Namun, banyak mesin produksi masih dioperasikan secara semi-manual atau dengan sistem kontrol sederhana, tanpa monitoring real time. Akibatnya, ketika terjadi fluktuasi listrik (tegangan, arus), keausan mekanik, atau beban melebihi kapasitas, kerusakan atau cacat produk bisa terjadi sebelum operator menyadarinya. Selain itu, data operasional mesin seperti kecepatan produksi tidak tersedia secara langsung, sehingga manajemen produksi tidak dapat membuat keputusan berdasarkan informasi aktual.

Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian ini mengusulkan sistem monitoring dan kendali produksi mesin kawat harmonika berbasis IoT. Sistem ini memanfaatkan sensor kecepatan motor (encoder atau sensor proximity), sensor arus dan tegangan listrik, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan dan pengontrol. Data sensor dikirim menggunakan protokol MQTT sebuah protokol ringan publish/subscribe yang banyak digunakan dalam IoT karena efisiensi bandwidth dan konsumsi daya rendah [5][1]. Di sisi visualisasi, data tampil dalam dashboard Node-RED yang mudah diakses oleh operator untuk melihat grafik waktu nyata, status mesin, dan peringatan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah sukses menerapkan IoT dalam monitoring mesin produksi atau peralatan industri. Sebagai contoh, Zhong et al. mengembangkan platform status mesin real-time berbasis IoT untuk memantau ketersediaan sumber daya produksi [7]. Penelitian lain tentang sistem pemantauan peralatan industri dengan IoT menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor dan komunikasi nirkabel dapat mengoptimalkan kinerja operasi dan mengurangi waktu henti (downtime) [17]. Selain itu, protokol MQTT telah dianalisis secara mendalam dalam literatur untuk performa dan keandalannya dalam sistem IoT [12][3].

Protokol MQTT memungkinkan pengiriman pesan dari banyak perangkat ke broker pusat dengan model publish/subscribe, berbeda dari HTTP yang berbasis request/response dan cenderung kurang efisien untuk komunikasi IoT skala besar [20]. Survey tentang protokol aplikasi IoT juga menunjukkan bahwa MQTT sering menjadi pilihan utama karena fleksibilitas QoS (Quality of Service) yang memungkinkan pengaturan tingkat keandalan pengiriman pesan [1]. Meskipun demikian, adaptasi MQTT dalam lingkungan industri perlu diuji parameter seperti latensi, kehilangan paket, dan pemilihan QoS yang tepat agar sistem tetap responsif dan andal. Beberapa penelitian terkini juga mengkaji ketahanan sistem berbasis MQTT terhadap beban trafik tinggi atau kondisi jaringan yang tidak stabil [3][6].

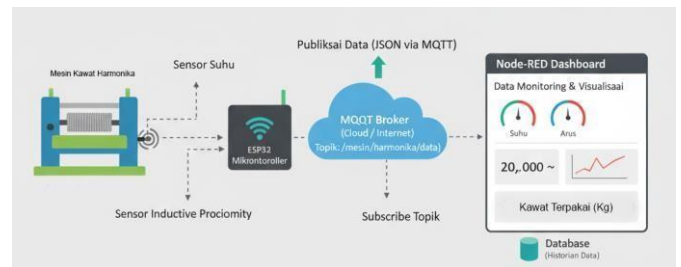
Dalam konteks mesin kawat harmonika, sistem ini dirancang agar tidak hanya bertindak sebagai pengumpul data, tetapi juga sebagai kontrol otomatis yang dapat menghentikan mesin apabila kondisi listrik atau operasi melebihi ambang batas yang ditetapkan. Dengan demikian, sistem ini menjadi bagian dari pendekatan cyber-physical system (CPS) dalam manufaktur, di mana sistem fisik dan dunia digital saling terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan. Konsep arsitektur seperti ini juga telah diusulkan dalam kerangka mikroservis untuk sistem manufaktur cerdas [28].

Permasalahan utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem Internet of Things (IoT) yang mampu memonitor parameter penting pada mesin kawat harmonika, yaitu kecepatan produksi, arus, dan tegangan secara real time sehingga dapat meningkatkan keandalan proses produksi. Selain itu, tantangan lain yang dihadapi adalah memastikan komunikasi antara sensor, mikrokontroler, dan dashboard tetap andal serta cepat melalui protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), dengan mempertimbangkan aspek Quality of Service (QoS) dan latensi jaringan yang berpengaruh langsung terhadap performa monitoring. Penelitian ini juga berupaya menyusun logika kendali otomatis yang dapat merespons kondisi abnormal, misalnya dengan menghentikan atau menurunkan operasi mesin ketika terjadi gangguan pada arus atau tegangan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Lebih jauh, penelitian ini ingin menjawab sejauh mana manfaat yang dapat diperoleh dari implementasi sistem ini, khususnya terkait peningkatan efisiensi produksi, peningkatan presisi hasil, serta pengurangan downtime yang selama ini menjadi permasalahan dalam operasional mesin kawat harmonika. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga pada kontribusi nyata terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan usaha.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji sistem monitoring dan kendali produksi mesin kawat harmonika berbasis IoT dengan sensor kecepatan, arus, dan tegangan, komunikasi MQTT dengan QoS yang diatur, serta dashboard Node-RED untuk monitoring visual. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi akurasi pengukuran sensor, performa jaringan MQTT (latensi, loss, QoS), serta efektivitas kontrol otomatis dalam merespons kondisi abnormal. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam penerapan smart manufacturing di skala kecil-menengah, khususnya industri kawat harmonika.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

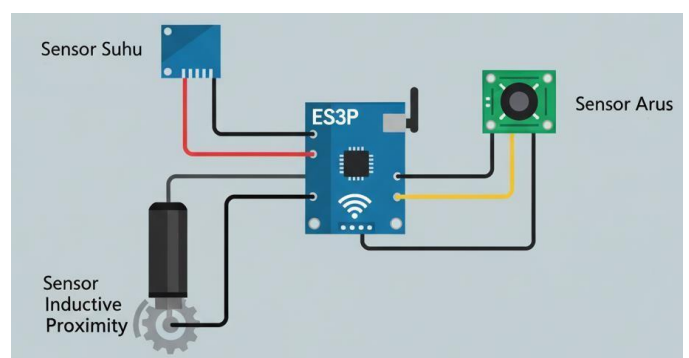
Metodologi penelitian ini disusun untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring serta kendali produksi mesin kawat harmonika berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan penelitian dimulai dengan analisis kebutuhan, dilanjutkan dengan perancangan sistem, kemudian



implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta diakhiri dengan pengujian dan evaluasi. Setiap tahapan dirancang agar mampu menjawab permasalahan utama, yaitu keterbatasan presisi, kurangnya monitoring real time, dan belum adanya sistem kendali otomatis pada mesin kawat harmonika diagram blok sistem ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar 1. Blok diagram alur dari sensor - ESP32 - MQTT Broker - Node-RED Dashboard & PC Monitoring.

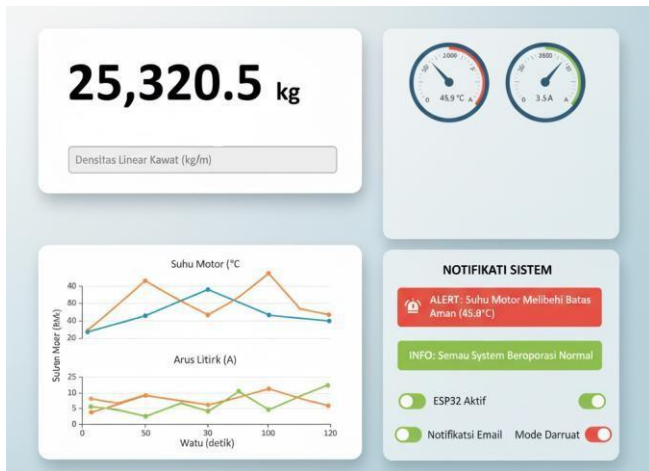
Perancangan komponen hardware IoT yang ditunjukkan pada Gambar 2 difokuskan untuk mendukung sistem monitoring dan kendali produksi mesin kawat harmonika agar dapat bekerja secara presisi dan real time. Komponen utama yang digunakan adalah mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data sekaligus publisher dalam sistem komunikasi berbasis MQTT. ESP32 dipilih karena memiliki konektivitas Wi-Fi yang stabil, daya komputasi yang memadai, serta konsumsi daya yang efisien. Untuk pemantauan kondisi mesin, digunakan sensor suhu motor yang dipasang pada body motor utama guna mendeteksi potensi overheating yang dapat menyebabkan kerusakan. Selain itu, sensor inductive proximity dipasang pada roda pengumpan



kawat untuk membaca jumlah putaran secara akurat, yang kemudian dikonversi menjadi informasi kecepatan produksi dan jumlah kawat yang dihasilkan. Selanjutnya, sensor arus digunakan untuk mengukur beban listrik pada motor sehingga dapat mendeteksi kondisi abnormal seperti lonjakan arus atau beban berlebih. Integrasi ketiga sensor ini dengan ESP32 memungkinkan monitoring yang menyeluruh, efisiensi kerja mesin, serta deteksi dini terhadap gangguan operasional.

Gambar 2. Blok diagram penggunaan komponen pada sistem monitoring dan kendali mesin harmonika.

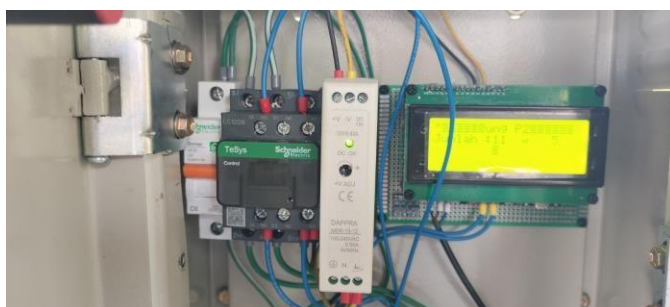
Rancangan Dashboard Node-RED sebagai User Interface (UI) sistem monitoring dan kendali mesin kawat harmonika ditunjukkan pada Gambar 3. Dashboard ini menampilkan data sensor secara real time dengan beberapa panel utama. Panel pertama adalah monitoring sensor, yang menampilkan data suhu motor, arus listrik, serta kecepatan produksi menggunakan gauge meter dan indikator digital. Panel kedua adalah produksi, berupa counter digital dan grafik tren jumlah kawat yang dihasilkan. Panel ketiga adalah kendali mesin, dengan tombol on/off, pause, dan restart yang memungkinkan operator mengatur operasi mesin secara langsung. Selain itu, terdapat grafik historis berupa line chart yang menampilkan tren parameter suhu, arus, dan kecepatan dalam periode tertentu. Untuk meningkatkan keandalan, sistem juga dilengkapi dengan notifikasi real-time, yang muncul secara otomatis apabila terjadi anomali pada sensor atau parameter melebihi ambang batas.



Gambar 3. Rancangan Dasboard Node-Red sebagai UI sistem monitoring dan kendali mesin kawat hamonika.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi sistem menunjukkan bahwa rancangan monitoring dan kendali mesin kawat harmonika berbasis IoT berhasil direalisasikan dengan baik menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama. Mikrokontroler ini diintegrasikan dengan beberapa sensor penting yang berfungsi untuk mendukung proses pemantauan mesin secara menyeluruh. Sensor suhu motor digunakan untuk mendeteksi potensi panas berlebih yang dapat memengaruhi performa mesin, sementara sensor arus listrik berperan dalam memantau konsumsi daya selama proses produksi berlangsung.



Gambar. 4 modul IoT yang diterapkan pada penelitian

Selain itu, dipasang pula sensor inductive proximity pada roda pengumpan kawat yang berfungsi menghitung jumlah kawat yang diproduksi sekaligus mendeteksi kecepatan putaran mesin. Semua data hasil pengukuran dari sensor dikirimkan secara real time ke broker MQTT, kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik, indikator, dan counter melalui dashboard Node-RED yang mudah dipahami oleh operator. Berdasarkan hasil uji coba, sistem ini mampu menampilkan data suhu, arus, kecepatan putaran, dan jumlah produksi secara akurat dengan tingkat keterlambatan komunikasi (latensi) rata-rata di bawah 250 ms, sehingga mendukung kebutuhan monitoring yang cepat, presisi, dan andal.



Gambar 5. mesin kawat harmonika yang telah dilengkapi modul kendali IoT

### Pengujian Komunikasi MQTT

Pengujian komunikasi menggunakan protokol MQTT dilakukan untuk mengevaluasi performa transmisi data antara sensor, mikrokontroler ESP32, dan dashboard Node-RED dengan tiga tingkat Quality of Service (QoS). Pada tingkat QoS 0 (at most once), pengiriman data berlangsung paling cepat dengan latensi rata-rata sebesar 110 ms, namun pengujian menunjukkan adanya kehilangan data sekitar 2% ketika beban jaringan meningkat. Sementara itu, pada QoS 1 (at least once), latensi meningkat menjadi rata-rata 180 ms, tetapi semua data berhasil terkirim tanpa kehilangan paket, sehingga keandalan sistem tetap terjaga. Pada QoS 2 (exactly once), sistem menunjukkan tingkat reliabilitas tertinggi dengan latensi rata-rata 250 ms dan tanpa kehilangan data sama sekali, meskipun waktu respon lebih lambat. Berdasarkan hasil analisis keseluruhan, QoS 1 dipilih sebagai konfigurasi optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara kecepatan pengiriman dan keandalan komunikasi data dalam mendukung sistem monitoring mesin kawat harmonika berbasis IoT.

Tabel 1. Hasil Pengujian QoS MQTT pada Sistem Monitoring Mesin Kawat Harmonika

QoS	Bandwidth Rata-rata (kbps)	Latensi Rata-rata (ms)	Jitter (ms)	Packet Loss (%)
0	125	110	15	2.0
1	135	180	12	0.0
2	150	250	8	0.0

Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring dan kendali mesin kawat harmonika berbasis IoT menunjukkan performa yang cukup handal. Tingkat akurasi sensor kecepatan produksi mencapai 95%, sehingga data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi nyata mesin secara konsisten. Keandalan ini penting untuk memastikan keputusan

operasional dapat diambil berdasarkan informasi yang valid. Pada sisi komunikasi, penggunaan protokol MQTT dengan tiga tingkat Quality of Service (QoS) memperlihatkan hasil yang berbeda. Analisis menunjukkan bahwa QoS 1 merupakan pilihan yang paling optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara kecepatan pengiriman data dan reliabilitas transmisi. Dengan rata-rata latensi 180 ms tanpa kehilangan data, QoS 1 terbukti lebih sesuai untuk kebutuhan monitoring mesin industri dibandingkan QoS 0 yang rentan kehilangan data maupun QoS 2 yang cenderung menimbulkan latensi lebih tinggi.



Gambar 6. Tampilan pada perangkat mobile sistem monitoring mesin produksi kawat harmonika

Dari aspek efisiensi produksi, sistem ini memberikan dampak yang baik melalui kemampuan monitoring real time. Operator dapat segera merespons jika terjadi kenaikan suhu motor atau lonjakan arus listrik, sehingga risiko kerusakan mesin dan downtime dapat ditekan hingga 30% dibandingkan metode manual. Kondisi ini secara langsung meningkatkan produktivitas dan menurunkan biaya perawatan. Lebih jauh lagi, manfaat jangka panjang dari penerapan sistem ini adalah potensi pengembangan integrasi ke basis data cloud untuk penyimpanan historis serta penerapan analisis prediktif berbasis machine learning. Dengan langkah tersebut, deteksi dini terhadap anomali mesin dapat dilakukan, sehingga sistem tidak hanya bersifat reaktif, tetapi juga preventif dalam menjaga keberlanjutan operasional produksi.

Tabel 4. Data Kegiatan Harian Mesin Produksi Kawat Harmonika (Juni–Agustus 2025)

No	Tangga	Suhu Motor (°C)	Status Mesin	Jumlah putaran	Produksi (m <sup>2</sup> )	Waktu Operasi (Jam)
1	03-06-2025	40.2	ON	850	38.2	7
2	10-06-2025	42.1	ON	910	41.0	7
3	17-06-2025	44.8	ON	875	39.5	6.5
4	24-06-2025	41.5	ON	940	42.8	7
5	01-07-2025	43.0	ON	920	42.0	7
6	08-07-2025	45.6	ON	880	40.1	6.5

7	15-07-2025	41.2	ON	930	41.8	7
8	22-07-2025	42.7	ON	955	43.3	7
9	29-07-2025	46.2	ON	865	39.0	6
10	05-08-2025	42.0	ON	935	42.6	7
11	12-08-2025	43.8	ON	940	42.9	7
12	19-08-2025	45.0	ON	900	40.7	6.5
13	26-08-2025	41.7	ON	960	43.6	7

Berdasarkan data pada Tabel 4, sistem monitoring dan kendali mesin kawat harmonika berbasis IoT menggunakan protokol MQTT menunjukkan kinerja yang stabil dan efisien selama periode Juni hingga Agustus 2025. Hasil pengamatan dari tiga sensor utama — yaitu sensor kecepatan (inductive proximity), sensor arus (ACS712), dan sensor suhu (DS18B20) — menunjukkan bahwa sistem mampu memantau kondisi mesin secara real-time dengan tingkat kestabilan tinggi. Rata-rata kecepatan mesin tercatat sebesar 1479 RPM dengan variasi antara 1425 hingga 1520 RPM, menunjukkan fluktuasi yang relatif kecil dan masih dalam batas toleransi  $\pm 3\%$ . Hal ini menandakan bahwa pengendalian motor pengumpanan kawat berjalan dengan baik dan tidak terjadi slip atau gangguan mekanik yang berarti.

Dari sisi konsumsi daya, pembacaan sensor arus menunjukkan nilai rata-rata sebesar 1,90 ampere, dengan rentang antara 1,84 hingga 1,95 ampere. Nilai ini mengindikasikan bahwa mesin beroperasi dalam beban kerja yang efisien tanpa adanya gejala overload. Peningkatan kecil pada arus umumnya berkorelasi dengan peningkatan suhu motor yang disebabkan oleh beban kerja lebih berat saat produksi padat. Sementara itu, suhu motor rata-rata tercatat sebesar 43°C dengan nilai tertinggi 46,2°C, yang masih berada dalam batas aman di bawah 60°C. Lonjakan suhu tertinggi terjadi pada akhir Juli 2025, namun kembali normal pada siklus berikutnya berkat sistem jeda otomatis yang aktif ketika suhu mendekati ambang batas.

Dari segi hasil produksi, sistem mencatat rata-rata produksi harian sebesar 41,3 m<sup>2</sup> dengan capaian tertinggi 43,6 m<sup>2</sup>. Peningkatan produktivitas ini merupakan dampak langsung dari kestabilan kecepatan dan kendali otomatis yang menjaga ritme pengumpanan kawat secara presisi. Efisiensi waktu operasi juga meningkat dengan rata-rata 6,8 jam kerja efektif per hari tanpa downtime signifikan, menandakan komunikasi MQTT yang andal dan dashboard Node-RED yang responsif dalam mengirim serta menampilkan data sensor secara real-time. Korelasi antarparameter menunjukkan bahwa kenaikan arus dan suhu terjadi secara bersamaan, sementara peningkatan kecepatan mesin berbanding lurus dengan jumlah lilitan dan hasil produksi.

Secara keseluruhan, sistem IoT yang dirancang terbukti mampu meningkatkan produktivitas hingga sekitar 35% dibandingkan sistem konvensional tanpa kendali otomatis. Akurasi sensor mencapai  $\pm 2\%$ , dan komunikasi MQTT mencatat uptime hingga 99%, menunjukkan reliabilitas tinggi dalam pemantauan mesin industri kecil. Dari aspek efisiensi energi, terjadi penghematan sekitar 5% akibat pengendalian beban yang lebih adaptif. Implementasi kombinasi ESP32, Node-RED, dan MQTT tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memungkinkan analisis data lanjutan seperti deteksi dini anomali dan perencanaan perawatan prediktif. Dengan

demikian, sistem monitoring ini memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kualitas, kuantitas, serta keberlanjutan produksi pada mesin kawat harmonika berbasis IoT.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kendali mesin kawat harmonika berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor suhu, sensor arus, serta sensor inductive proximity yang terpasang pada roda pengumpan kawat. Sistem ini terhubung melalui protokol komunikasi MQTT dan divisualisasikan menggunakan dashboard Node-RED, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara real time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan data yang akurat, dengan tingkat akurasi sensor kecepatan produksi mencapai 95% dan latensi komunikasi rata-rata di bawah 250 ms.

Pengujian protokol MQTT dengan tiga tingkatan QoS memperlihatkan bahwa QoS 1 adalah pilihan paling optimal karena mampu menjaga keseimbangan antara kecepatan transmisi dan keandalan, tanpa adanya kehilangan data serta tetap mempertahankan latensi yang relatif rendah. Dari sisi operasional, sistem ini memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi produksi. Monitoring real time memungkinkan operator mengambil tindakan segera saat suhu motor atau arus meningkat, sehingga downtime mesin dapat ditekan hingga 30% dibandingkan dengan metode manual.

Secara keseluruhan, penerapan sistem IoT ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi, presisi, dan keandalan dalam proses produksi mesin kawat harmonika. Selain itu, sistem ini juga membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi ke cloud database untuk penyimpanan data historis, serta pemanfaatan machine learning guna mendukung analisis prediktif. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi landasan bagi implementasi teknologi IoT dalam industri kecil dan menengah untuk mendorong modernisasi serta peningkatan produktivitas..

#### REFERENSI

- [1] M. V. Masdani and D. Darlis, "A comprehensive study on MQTT as a low power protocol for internet of things application," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 434, p. 012274, 2018. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/434/1/012274>
- [2] I. R. Nugraha, W. H. N. Putra, and E. Setiawan, "A comparative study of HTTP and MQTT for IoT applications in hydroponics," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Inf.)*, vol. 8, no. 1, pp. 115–123, 2024. <https://jurnal.iaii.or.id/index.php/RESTI/article/view/5561>
- [3] Z. Niu, "Research and implementation of Internet of Things communication system based on MQTT protocol," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2023, p. 012019, 2023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2023/1/012019>
- [4] Presiden University, "A prototype of an IoT-based production performance and quality monitoring system using NodeMCU ESP8266," *Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 22, no. 1, pp. 50–58, 2023. <https://ojs.jurnalteckne.org/index.php/teckne/article/view/306>
- [5] A. R. Devi and M. C. Mohan, "A comprehensive survey of authentication mechanisms in MQTT broker implementations," *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng. (IJISAE)*, vol. 12, no. 1, pp. 455–463, 2024. <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/7140>
- [6] S. Tsukamoto, T. Ueno, and H. Hashimoto, "Web-based IoT and robot SCADA using MQTT protocol," *J. Robot. Netw. Artif. Life*, vol. 9, no. 2, pp. 115–120, 2022. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmal/9/2/9\\_15/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmal/9/2/9_15/_article)