

ANALISIS PREDIKTIF MAINTENANCE BERBASIS IOT UNTUK MENGURANGI DOWNTIME PADA MESIN PRODUKSI

Tajuddin Khalid^{1*}, Hasanudin Ibrahim², Zulkifli Dwi³

Program Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Politeknik No.18, Tamalanrea Indah,
Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245.

Email Korespondensi: Tajuddinkhalidi@gmail.com

Abstrak. Downtime mesin merupakan salah satu penyebab utama penurunan produktivitas di industri manufaktur. Sistem pemeliharaan konvensional seperti preventive maintenance sering kali belum mampu mendeteksi potensi kerusakan secara dini. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan pendekatan predictive maintenance yang mampu memantau kondisi mesin secara real-time dan memprediksi kegagalan sebelum terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem predictive maintenance berbasis IoT dalam mengurangi downtime mesin produksi. Penelitian dilakukan pada lini produksi PT SDE di Sulawesi Selatan dengan menggunakan sensor getaran, suhu, dan arus listrik yang diintegrasikan ke dalam platform IoT. Desain penelitian menggunakan metode eksperimen semu (quasi-experimental) dengan perbandingan antara kondisi before dan after penerapan sistem selama 3 bulan. Data dianalisis menggunakan paired t-test untuk melihat perbedaan signifikan waktu downtime. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata downtime mesin menurun dari 18,4 jam/bulan menjadi 9,7 jam/bulan (penurunan 47,3%). Nilai $t = 6,58$ dengan $p < 0,001$ menunjukkan perbedaan signifikan. Sistem IoT juga memungkinkan perawatan dilakukan secara prediktif berdasarkan data kondisi aktual mesin. Dengan demikian, implementasi predictive maintenance berbasis IoT terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan mesin dan efisiensi operasional industri manufaktur.

Kata kunci: IoT, predictive maintenance, downtime, efisiensi mesin, manufaktur

Abstract. Machine downtime is a major factor causing productivity losses in manufacturing industries. Conventional maintenance systems such as preventive maintenance often fail to detect potential failures early. The Internet of Things (IoT) enables predictive maintenance, allowing real-time machine monitoring and fault prediction before breakdown occurs. This study aimed to analyze the effectiveness of IoT-based predictive maintenance in reducing machine downtime. The study was conducted in the production line of PT SDE, South Sulawesi, using vibration, temperature, and current sensors integrated into an IoT platform. A quasi-experimental design comparing before and after implementation over three months was applied. Data were analyzed using paired t-tests to assess significant differences in downtime duration. Results showed that average machine downtime decreased from 18.4 to 9.7 hours per month (a 47.3% reduction). The paired t-test yielded $t = 6.58$, $p < 0.001$, indicating a significant improvement. The IoT system enabled predictive scheduling of maintenance based on real-time condition data. Therefore, IoT-based predictive maintenance effectively enhances machine reliability and operational efficiency in manufacturing industries.

Keywords: IoT, predictive maintenance, downtime, machine efficiency, manufacturing

*Penulis Korespondensi

Diterima : 29 Agustus 2025. Disetujui : 10 September 2025. Dipublikasikan : 30 September 2025

PENDAHULUAN

Dalam era industri 4.0, efisiensi operasional menjadi faktor utama keberhasilan industri manufaktur. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah downtime mesin, yaitu waktu henti produksi akibat kerusakan peralatan atau perawatan tidak terencana. Berdasarkan laporan McKinsey (2022), downtime tak terduga dapat menyebabkan kerugian produktivitas hingga 20–30% dari total kapasitas produksi.

Pendekatan pemeliharaan tradisional, seperti corrective dan preventive maintenance, memiliki keterbatasan. Corrective maintenance dilakukan setelah kerusakan terjadi, sementara preventive maintenance dilakukan berdasarkan jadwal waktu, bukan kondisi aktual mesin. Kedua pendekatan ini tidak mampu mendeteksi kerusakan dini, sehingga sering terjadi over-maintenance atau kegagalan tak terduga (Jardine et al., 2006).

Predictive maintenance (PdM) hadir sebagai solusi dengan memanfaatkan Internet of Things (IoT) untuk mengumpulkan data sensor seperti getaran, suhu, tekanan, dan arus listrik secara real-time. Data tersebut

kemudian dianalisis menggunakan algoritma prediktif untuk memperkirakan waktu kegagalan mesin. Dengan demikian, tindakan perawatan dapat dilakukan tepat sebelum kerusakan terjadi (Lee et al., 2015).

Integrasi IoT dalam sistem PdM memberikan keuntungan signifikan seperti pengurangan downtime, peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE), serta efisiensi biaya pemeliharaan (Zhou et al., 2020). Beberapa studi melaporkan bahwa penerapan IoT-based PdM dapat menurunkan biaya perawatan hingga 25% dan meningkatkan waktu operasi hingga 30% (PwC, 2021).

Namun, di Indonesia, penerapan predictive maintenance berbasis IoT masih terbatas pada industri besar dan belum banyak diterapkan pada manufaktur menengah. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas sistem PdM berbasis IoT terhadap pengurangan downtime mesin produksi di PT SDE (inisial), Sulawesi Selatan.

Semua sensor dihubungkan ke platform IoT berbasis cloud (ThingsBoard) melalui mikrokontroler ESP32. Data dikirim setiap 5 detik dan dianalisis menggunakan model threshold dan algoritma moving average untuk mendeteksi anomali.

Indikator Penelitian

1. Downtime mesin (jam/bulan).
2. Frekuensi kerusakan (kejadian/bulan).
3. Waktu rata-rata perbaikan (MTTR).

Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif dan dengan uji t berpasangan untuk mengukur perbedaan downtime sebelum dan sesudah penerapan PdM. Analisis dilakukan dengan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain quasi-eksperimental dengan pendekatan before–after tanpa kelompok kontrol. Penelitian dilakukan di lini produksi mesin pemotong logam PT SDE selama 6 bulan (3 bulan sebelum dan 3 bulan sesudah implementasi sistem IoT).

Sistem Predictive Maintenance Berbasis IoT

Sensor yang digunakan meliputi:

1. Sensor getaran (accelerometer) untuk mendeteksi ketidakseimbangan komponen.
2. Sensor suhu (thermocouple) untuk memantau panas berlebih.
3. Sensor arus listrik (ACS712) untuk memonitor beban motor.

tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ menggunakan SPSS 26..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 1. Karakteristik Mesin yang Diteliti (n=10)

Jenis Mesin	Rata-rata Umur (tahun)	Jam Operasi/Bulan	Frekuensi Kerusakan Sebelum (kejadian/bln)	Sesudah (kejadian/bln)
Mesin CNC	4,2	320	2,3	1,0
Mesin Bubut	5,5	290	1,8	0,9
Mesin Milling	6,1	275	2,0	1,1

Sebagian besar mesin telah beroperasi 4–6 tahun dengan jam operasi tinggi (>250 jam/bulan). Sebelum penerapan PdM berbasis IoT, frekuensi

kerusakan rata-rata 2 kejadian per bulan menurun menjadi sekitar 1 kejadian per bulan setelah sistem diterapkan.

Tabel 2. Perbandingan Downtime Mesin Sebelum dan Sesudah Implementasi IoT (n=10)

Variabel	Sebelum (jam/bln, Mean $\pm$ SD)	Sesudah (jam/bln, Mean $\pm$ SD)	Penurunan (%)	t	p-value
Downtime mesin	18,4 $\pm$ 3,2	9,7 $\pm$ 2,8	47,3	6,58	<0,001*
MTTR (jam)	3,8 $\pm$ 0,9	2,2 $\pm$ 0,6	42,1	5,44	<0,001*
Frekuensi kerusakan	2,0 $\pm$ 0,6	1,0 $\pm$ 0,3	50,0	4,92	<0,001*

Tabel menunjukkan bahwa terjadi penurunan signifikan pada downtime mesin sebesar 47,3% ($p < 0,001$). Rata-rata waktu perbaikan (MTTR) berkurang 42,1%, dan frekuensi kerusakan turun 50%. Hasil ini

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem predictive maintenance berbasis IoT efektif dalam mengurangi downtime dan meningkatkan keandalan mesin produksi. Penurunan downtime hampir 50% membuktikan bahwa teknologi IoT mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi kerusakan.

Penurunan waktu henti ini sejalan dengan teori pemeliharaan berbasis kondisi (condition-based maintenance), di mana keputusan perawatan didasarkan pada

membuktikan efektivitas sistem IoT dalam mendeteksi gejala kerusakan lebih awal, sehingga tim teknisi dapat melakukan intervensi sebelum terjadi kegagalan besa

kondisi aktual peralatan (Jardine et al., 2006). Dengan sensor getaran dan suhu, sistem mampu mendeteksi anomali yang menandakan potensi kerusakan bantalan atau overheating motor.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Lee et al. (2015) dan Zhou et al. (2020) yang menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sistem prediktif dapat meningkatkan availability mesin hingga 20–30%. Selain itu, dengan menurunnya MTTR dan frekuensi kerusakan, perusahaan dapat mengoptimalkan jadwal produksi tanpa gangguan signifikan.

Faktor utama keberhasilan sistem ini adalah integrasi data real-time dengan algoritma prediktif sederhana yang mudah diimplementasikan. Penggunaan sensor murah namun akurat (accelerometer, ACS712, dan thermocouple) membuat sistem ini efisien secara biaya dan sesuai untuk industri skala menengah.

Selain manfaat teknis, penerapan IoT juga memperkuat aspek manajemen data. Operator dan tim pemeliharaan dapat mengakses dashboard monitoring untuk memantau tren kondisi mesin, sehingga keputusan perawatan menjadi berbasis bukti. Hal ini mencerminkan paradigma data-driven maintenance yang merupakan bagian dari transformasi digital industri 4.0 (Wang et al., 2017).

Namun, implementasi predictive maintenance juga menghadapi tantangan, seperti kebutuhan konektivitas stabil, literasi digital tim teknis, dan integrasi sistem lama. Menurut Ng et al. (2021), keberhasilan implementasi IoT tidak hanya tergantung pada teknologi, tetapi juga kesiapan organisasi dan budaya adaptasi terhadap inovasi.

Dalam konteks Indonesia, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem prediktif berbasis IoT dapat menjadi alternatif realistis bagi industri manufaktur yang ingin mengurangi biaya downtime tanpa investasi besar. Hasilnya relevan untuk diterapkan pada sektor otomotif, tekstil, maupun makanan dan minuman yang mengandalkan mesin beroperasi terus-menerus.

Secara keseluruhan, sistem predictive maintenance berbasis IoT mampu mentransformasikan strategi pemeliharaan dari reaktif menjadi proaktif. Dengan prediksi berbasis data real-time, perusahaan dapat merencanakan perawatan lebih efektif, menghindari kerusakan besar, dan meningkatkan efisiensi energi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Implementasi sistem predictive maintenance berbasis IoT terbukti efektif dalam mengurangi downtime mesin hingga 47,3% ($p < 0,001$), menurunkan MTTR sebesar 42,1%, dan mengurangi frekuensi kerusakan sebesar 50%. Teknologi IoT memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara real-time sehingga kerusakan dapat diprediksi lebih awal.

Saran

Industri manufaktur disarankan untuk mulai mengintegrasikan teknologi IoT dalam sistem pemeliharaan mesin secara bertahap. Diperlukan pelatihan bagi teknisi dan operator untuk interpretasi data sensor. Penelitian lanjutan dapat mengembangkan model machine learning untuk prediksi kegagalan yang lebih presisi dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahuja, I.P.S. and Khamba, J.S. (2008) 'Total productive maintenance: literature review and directions', *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), pp. 709–756.
- Bousdekis, A., Magoutas, B. and Apostolou, D. (2019) 'Predictive maintenance in the era of industry 4.0', *Computers in Industry*, 104, pp. 48–60.
- Gopalakrishnan, P. and Banerji, A.K. (2013) *Maintenance and spare parts management*. New Delhi: PHI Learning.
- IBM (2020) *Predictive maintenance using IoT analytics*. New York: IBM Press.
- Jardine, A.K.S., Lin, D. and Banjevic, D. (2006) 'A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance', *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), pp. 1483–1510.
- Lee, J., Bagheri, B. and Kao, H.A. (2015)

- ‘A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems’, *Manufacturing Letters*, 3, pp. 18–23.
- Mobley, R.K. (2019) *Maintenance fundamentals*. 4th edn. New York: Elsevier.
- Muchiri, P. and Pintelon, L. (2008) ‘Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE)’, *International Journal of Production Research*, 46(13), pp. 3517–3535.
- Ng, W.K., Low, C.K. and Tan, J. (2021) ‘Challenges and opportunities in IoT predictive maintenance adoption’, *Procedia Manufacturing*, 55, pp. 442–449.
- Olanrewaju, O.I. and Abdul-Aziz, F. (2015) ‘Building maintenance processes and strategies’, *Journal of Building Performance*, 6(1), pp. 1–16.
- Patil, M. et al. (2019) ‘IoT-based predictive maintenance framework for manufacturing’, *Journal of Industrial Information Integration*, 16, pp. 100–109.
- PwC (2021) *Digital factory survey report*. London: PricewaterhouseCoopers.
- Rao, B. and Kumar, S. (2020) ‘Condition monitoring and predictive maintenance of rotating machinery’, *IEEE Access*, 8, pp. 99329–99345.
- Sasi, A. and Pillai, A. (2020) ‘IoT-enabled predictive maintenance systems: A review’, *Journal of Manufacturing Systems*, 56, pp. 15–26.
- Smith, R. and Hawkins, B. (2004) *Lean maintenance*. Oxford: Elsevier.
- Tsang, A.H.C. (2002) ‘Strategic dimensions of maintenance management’, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), pp. 7–39.
- Waeyenbergh, G. and Pintelon, L. (2004) ‘A framework for maintenance concept development’, *International Journal of Production Economics*, 77(3), pp. 299–313.
- Wang, K., Liu, C. and Zhang, X. (2017) ‘Big data-driven smart factory and its role in predictive maintenance’, *Computers & Industrial Engineering*, 110, pp. 395–408.
- Zhang, Z., He, Y. and Yuan, Z. (2019) ‘Smart maintenance using IoT and machine learning technologies’, *Sensors*, 19(19), pp. 4221–4238.
- Zhou, J., Xiang, Y. and Li, W. (2020) ‘A data-driven approach for predictive maintenance of industrial machinery’, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(5), pp. 3489–3498.
- McKinsey & Company (2022) *Global maintenance excellence report*. New York: McKinsey.