

Optimalisasi Prediksi *Maintenance* Menggunakan Regresi *Random Forest*: Tinjauan *Systematic Literature Review*

I Gusti Putu Mahindra Yasa¹⁾, Gede Angga Pradipta²⁾, Ni Luh Putri Srinadi³⁾

Program Studi Magister Sistem Informasi
Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali
Denpasar, Indonesia

e-mail: 222012028@stikom-bali.ac.id¹⁾, angga_pradipta@stikom-bali.ac.id²⁾, putri@stikom-bali.ac.id³⁾

Abstrak

Perawatan aset penting untuk menjaga kinerja dan memperpanjang umur. Penjadwalan perawatan optimal penting untuk meminimalkan downtime dan memaksimalkan produktivitas. Regresi *Random Forest* (RF) adalah metode populer untuk prediksi perawatan, terbukti efektif dalam berbagai tugas prediksi dan klasifikasi. Penelitian ini mengevaluasi penggunaan RF dalam prediksi perawatan, dengan fokus pada keunggulan dan batasan dibandingkan metode lain. Kinerja RF dalam memprediksi waktu perawatan optimal berdasarkan berbagai faktor variabel dianalisis. *Systematic Literature Review* (SLR) digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis ide dan penelitian terkait dari periode 2019 hingga 2024. Hasil menunjukkan RF memiliki keunggulan dalam prediksi perawatan, terutama dalam peningkatan konversi penjualan. Namun, beberapa keterbatasan perlu dipertimbangkan sebelum implementasi, seperti ketersediaan data, pengalaman *machine learning*, dan kualitas data. Faktor variabel terpenting dalam prediksi waktu perawatan adalah Tingkat Akurasi, Sensitivitas, dan Generalisasi. Kesimpulannya, RF adalah metode efektif dalam prediksi perawatan, tetapi perlu dipertimbangkan dengan matang sesuai kebutuhan dan kondisi operasional. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan metode prediksi perawatan yang lebih akurat dan efisien.

Kata Kunci: *Random Forest to Predictive Maintenance, Perawatan Aset, Regresi Random Forest, Systematic Literature Review, Prediksi Perawatan, Faktor Variabel*

1. Pendahuluan

Perawatan (*maintenance*) merupakan hal krusial dalam menjaga kinerja dan umur aset. Penjadwalan *maintenance* yang efektif sangat penting untuk mengurangi downtime dan meningkatkan produktivitas. Regresi *Random Forest* (RF) adalah metode prediksi *maintenance* yang populer dalam *machine learning*. Namun, perlu analisis mendalam untuk memahami keunggulan, batasan, dan kinerja RF dalam memprediksi waktu *maintenance* yang optimal berdasarkan faktor variabel yang memengaruhi. Dalam penelitian ini, kami melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur untuk mengidentifikasi tren terbaru seputar penggunaan RF dalam konteks ini. Tujuan utama kami adalah menyusun landasan pengetahuan yang kuat dan merumuskan rekomendasi relevan untuk penelitian masa depan dalam bidang prediksi *maintenance*.

2. Metode Penelitian

Pendekatan yang sistematis, eksplisit, dan dapat direplikasi dari metode *Systematic Literature Review* (SLR) digunakan dalam penelitian ini. Identifikasi, penilaian, dan sintesis ide dan penelitian yang dilakukan oleh praktisi dan peneliti dimungkinkan oleh metodologi ini. Tujuan utama dari SLR adalah untuk menemukan, menganalisis secara seksama, dan mengevaluasi setiap studi yang relevan yang telah dilakukan tentang topik penelitian yang dipilih.

2.1 Research Question

Kebutuhan dari topik yang dipilih diperhatikan saat merumuskan pertanyaan-pertanyaan penelitian. Berikut adalah beberapa contoh pertanyaan penelitian dari penelitian ini:

RQ1. Apa keunggulan dan batasan dari penggunaan Regresi *Random Forest* dalam prediksi *maintenance* dibandingkan dengan metode regresi lainnya?

RQ2. Bagaimana kinerja Regresi *Random Forest* dalam memprediksi waktu *maintenance* yang optimal berdasarkan berbagai faktor variabel yang memengaruhi?

2.2 Search Process

Untuk menjawab Pertanyaan Penelitian (RQ) dan referensi relevan lainnya, Proses Pencarian digunakan untuk memperoleh bahan-bahan yang sesuai. Mesin pencari yang digunakan dalam prosedur ini adalah Google, yang dapat diakses melalui tautan <https://scholar.google.com>.

2.2.1 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan apakah data yang dikumpulkan cocok untuk digunakan dalam penelitian SLR atau tidak. Suatu studi dapat disimpulkan jika memenuhi kriteria berikut:

1. Data yang digunakan mencakup periode waktu dari tahun 2019 hingga 2024.
2. Data diperoleh dari situs web <https://scholar.google.com>.
3. Hanya informasi yang terkait dengan Optimalisasi Prediksi *Maintenance* Menggunakan Regresi *Random Forest* yang digunakan.

2.2.2 Kualitas Penilaian

Dalam penelitian SLR, evaluasi data yang ditemukan akan mengacu pada pertanyaan kriteria penilaian kualitas berikut:

QA1. Apakah paper jurnal dipublikasikan pada tahun 2019 – 2024?

QA2. Apakah pada paper jurnal menuliskan penggunaan *Random Forest* sebagai metode prediksi *maintenance*?

QA3. Apakah pada paper jurnal menuliskan *Random Forest* sebagai metode prediksi *maintenance* menunjukkan hasil yang bagus?

Dari masing-masing paper, akan diberi nilai jawaban di bawah ini untuk tiap-tiap pertanyaan di atas.

1. Y (Ya): mengenai masalah dan metode yang dibahas dalam sebuah paper jurnal dalam rentang waktu 2019–2024.
2. T (Tidak): untuk masalah dan metode yang tidak dijelaskan.

2.2.3 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data, data individu dikumpulkan untuk dianalisis. Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini kemudian dianalisis dan didokumentasikan menggunakan perangkat lunak Mendeley

Dibawah ini adalah tahapan dari observasi hingga dokumentasi dalam pengumpulan data, yang dilakukan melalui akses ke sumber informasi di <https://scholar.google.com/>.

1. Mengunjungi situs <https://scholar.google.com/>.
2. Memasukkan kata kunci "*Random Forest to Predictive Maintenance*" pada form pencarian.
- 3 Pada rentang tahun pencarian, masukan tahun 2019 – 2024 untuk mengidentifikasi sumber artikel yang diterbitkan pada tahun tertentu dalam mencari paper tentang "*Random Forest to Predictive Maintenance*", setelah melakukan pencarian, judul artikel, tahun publikasi, dan nama penulisnya akan ditampilkan

2.2.4 Data Analysis

Data yang dikumpulkan akan dianalisis dan menunjukkan sebagai berikut:

1. Apa keunggulan dan batasan dari penggunaan Regresi *Random Forest* dalam prediksi *maintenance* dibandingkan dengan metode regresi lainnya? (mengacu pada RQ1).
2. Bagaimana kinerja Regresi *Random Forest* dalam memprediksi waktu *maintenance* yang optimal berdasarkan berbagai faktor variabel yang mempengaruhi? (mengacu pada RQ2).

2.2.5 Penulisan Laporan

Sebagai hasil dari kajian ini, penulis mencatat beberapa perubahan pada *deviation from protocol*:

1. Penelitian ini mengidentifikasi aspek yang terpengaruh dari penggunaan *Regresi random Forest* untuk memprediksi jadwal *maintenance*, serta menjawab pertanyaan penelitian (Research Question).
2. Mengumpulkan jurnal untuk menjawab serta memastikan kualitas dan menyediakan informasi yang dibutuhkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada awalnya, terdapat 195.000 artikel yang dikumpulkan dari database Google *Scholar*. Kemudian, artikel-artikel tersebut disaring berdasarkan relevansi judul, tahun publikasi, dan kelengkapan artikel, yang menghasilkan 13.300 artikel yang tersaring. Selanjutnya, dilakukan seleksi berdasarkan kesesuaian judul dengan isi, yang menghasilkan 20 artikel. Akhirnya, setelah proses seleksi, diperoleh 13 artikel yang layak untuk dianalisis.

3.1 Hasil Proses Pencarian

Hasil dari proses pencarian yang ditampilkan dalam Tabel 1 dikelompokkan berdasarkan nama jurnal, sehingga memudahkan identifikasi jenis data atau tipe jurnal yang diperoleh melalui proses pencarian.

Tabel 1. Pengelompokan berdasarkan nama Jurnal

	Nama Jurnal	Jumlah
1	Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual, Vol 9, No 1 (2024): Volume 9 Nomor 1, Februari 2024	1
2	Jurnal SISFO Vol. 09 No. 03 (2020)	1
3	Journal of Physics: Conference Series, 1528 (2020) 012030	1
4	Journal of Advanced Transportation Volume 2023, Article ID 7641472	1
5	Seminar Nasional Official Statistics, Volume 2022, Year 2022, 691-702	1
6	Computers in Industry, 2020, volume 123	1
7	IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2019	1
8	Procedia Manufacturing 45 (2020)	1
9	IEEE 5th World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2019 - Conference Proceedings	1
10	Information (Switzerland), 2020, Volume 11	1
11	Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 101, 2019	1
12	Computers in Industry, 2021, Volume 125	1
13	Computers and Industrial Engineering, Volume 137, Year 2019	2
14	Sustainability, Published: 5 October 2020	1
15	Computers and Industrial Engineering, Volume 184, Year 2023	1
16	IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, Year 2019	1
17	Expert Systems With Applications, Volume 173, Year 2021	1
18	Reliability Engineering and System Safety, Volume 215, Year 2021	1
19	Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing, Part F1477, year 2019	1

3.2 Hasil Seleksi

Hasil pencarian akan dipilah berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kemudian, dilakukan penelaahan data. Tabel 2 menunjukkan evaluasi kualitas untuk menentukan apakah data tersebut akan digunakan dalam penelitian ini atau tidak.

3.3 Evaluasi Kualitas (*Quality Assesment*)

Tabel 2. Evaluasi Kualitas (*Quality Assesment*)

No	Penulis	Judul Artikel	Tahun	Q1	QA2	QA3	Hasil
1	Ardianto, dkk.	Random Forest Regression Untuk Prediksi Produksi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya [1].	2022	Y	Y	Y	✓
2	Dewanti Anggrahini, dkk.	Implementasi Data Analitik Untuk Penentuan Jadwal Pemeliharaan Mesin Pada Perusahaan Manufaktur Kontinu Skala Besar[2].	2020	Y	Y	T	X
3	A S Aji, etc.	Predictive maintenance magnetic sensor using random forest method[3]	2020	Y	Y	Y	✓
4	Jianjun Yang, etc.	Prediction of Traffic Accident Severity Based on Random Forest[4]	2023	Y	Y	Y	✓

No	Penulis	Judul Artikel	Tahun	Q1	QA2	QA3	Hasil
5	Krisman Yusuf N.	Perancangan Smart Predictive Maintenance untuk Mesin Produksi[5]	2023	Y	Y	Y	✓
6	Jovani Dalzochioa , etc.	Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges[6]	2020	Y	Y	Y	✓
7	Fabrizio De V., etc.	On the use of LSTM networks for Predictive Maintenance in Smart Industries[7]	2019	Y	Y	Y	✓
8	Josef Wolfartsbergera, etc.	Combining predictive maintenance and mixed reality-supported remote assistance [8]	2020	Y	Y	Y	✓
9	Adrian B., etc.	Machine Learning Predictive Maintenance on Data in the Wild[9]	2019	Y	Y	Y	✓
10	Matteo Calabrese, etc.	An Event-Based IoT and Machine Learning Architecture for Predictive Maintenance in Industry 4.0[10]	2020	Y	Y	X	X
11	Zaharah Allah B., etc.	Predictive maintenance using tree-based classification techniques: A case of railway switches[11]	2019	Y	Y	Y	✓
12	Sebastian Schwendemann, etc.	A survey of machine-learning techniques for condition monitoring and predictive maintenance of bearings in grinding machines[12]	2021	Y	Y	Y	✓
13	Jan Z., Etc.	Machine learning based concept drift detection for predictive maintenance[13]	2019	Y	Y	Y	✓
14	Zeki Murat Çınar, etc.	Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0[14]	2020	Y	Y	T	X
15	Bernar Taşçı, etc.	Remaining useful lifetime prediction for predictive maintenance in manufacturing[15]	2023	Y	Y	Y	✓
16	Serkan Ayvaz, Koray Alpay	Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time[16]	2021	Y	Y	Y	✓
17	Silvestrin, Luis Pedro, etc.	A Comparative Study of State-of-the-Art Machine Learning Algorithms for Predictive Maintenance[17]	2019	Y	Y	Y	✓
18	Thyago P. Carvalho, etc.	A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance[18]	2019	Y	Y	T	X
19	Andreas Theissler, etc.	Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry[19]	2021	Y	Y	T	X
20	Sourajit Behera, etc.	Ensemble Trees Learning Based Improved Predictive Maintenance using IIoT for Turbofan Engines[20]	2019	Y	Y	T	X

Keterangan:

✓: Artikel yang terpilih untuk penelitian ini dipilih karena mengandung permasalahan, pendekatan, dan informasi yang relevan yang diperlukan untuk keperluan pemilihan data.

X: Artikel yang tidak dipakai dalam penelitian ini disaring karena mereka ditulis oleh editor yang lebih fokus pada pengalaman peneliti, masalah, pendekatan, atau informasi yang tidak memadai untuk proses pemilihan data.

3.4 Analisa Data

Pada tahap ini, pertanyaan dari *Research Question* (RQ) akan dijawab dan pendekatan yang sering digunakan dalam periode 2019 hingga 2024 akan dibahas.

3.4.1 Pembahasan Hasil. Bagian ini akan membahas hasil dan menjawab pertanyaan penelitian (*Research Question/RQ*).

RQ1. Apa keunggulan dan batasan dari penggunaan Regresi *Random Forest* dalam prediksi *maintenance* dibandingkan dengan metode regresi lainnya?

Dari 20 jurnal yang ditemukan melalui proses pencarian, seleksi data menggunakan kata kunci "*Random Forest to Predictive Maintenance*" menghasilkan 14 artikel jurnal yang kemudian dievaluasi kualitasnya. Artikel-artikel ini dikelompokkan berdasarkan aspek yang terpengaruh untuk menjawab *research question*. Evaluasi kualitas ini memberikan jawaban untuk RQ1, yang terdapat pada tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa peningkatan konversi pada penjualan adalah aspek yang terpengaruh berdasarkan hasil evaluasi kualitas.

Tabel 3. Pengelompokan Aspek

No	Aspek yang terpengaruh	Jumlah
1	Peningkatan Efisiensi Maintenance	5
2	Penghematan Biaya	1
3	Peningkatan Kinerja Sistem	8

RQ2. Bagaimana kinerja Regresi *Random Forest* dalam memprediksi waktu *maintenance* yang optimal berdasarkan berbagai faktor variabel yang memengaruhi??

Tabel 4 menunjukkan hasil dari pengelompokan faktor variabel yang akan menjawab RQ2. Dapat dilihat pada tabel 4 faktor variabel yang lebih banyak mempengaruhi adalah Tingkat akurasi.

Tabel 4. Pengelompokan Terhadap Kualitas Prediksi

No	Variabel	Jumlah
1	Tingkat Akurasi	6
2	Sensitivitas	4
3	Generalisasi	4

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, Regresi *Random Forest* adalah metode yang efektif untuk prediksi *maintenance*, namun memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan seperti ketersediaan data dan pengalaman *machine learning*. Variabel penting untuk dipertimbangkan adalah Tingkat Akurasi, Sensitivitas, dan Generalisasi dalam memprediksi waktu *maintenance* yang optimal.

Daftar Pustaka

- [1] A. B. Raharjo, A. Ardianto, and D. Purwitasari, "Random Forest Regression Untuk Prediksi Produksi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 7, no. 4, p. 1058, 2022, doi: 10.28926/briliant.v7i4.1036.
- [2] D. Anggrahini, N. Kurniati, A. D. Prasanto, M. Imron, and M. A. Yaqin, "Implementasi Data Analitik Untuk Penentuan Jadwal Pemeliharaan Mesin Pada Perusahaan Manufaktur Kontinu Skala Besar," *J. SISFO*, vol. 9, no. 3, pp. 21–28, 2020.
- [3] A. S. Aji, J. A. Sashiomarda, and D. Handoko, "Predictive maintenance magnetic sensor using random forest method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1528, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1528/1/012030.
- [4] J. Yang, S. Han, and Y. Chen, "Prediction of Traffic Accident Severity Based on Random Forest," *J. Adv. Transp.*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/7641472.
- [5] K. Y. Nazara, "Perancangan Smart Predictive Maintenance untuk Mesin Produksi," *Semin. Nas. Off. Stat.*, vol. 2022, no. 1, pp. 691–702, 2022, doi: 10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1575.

-
- [6] J. Dalzochio *et al.*, “Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges,” *Comput. Ind.*, vol. 123, p. 103298, 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103298.
- [7] D. Bruneo and F. De Vita, “On the use of LSTM networks for predictive maintenance in smart industries,” *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Smart Comput. SMARTCOMP 2019*, pp. 241–248, 2019, doi: 10.1109/SMARTCOMP.2019.00059.
- [8] J. Wolfartsberger, J. Zenisek, and N. Wild, “Data-driven maintenance: Combining predictive maintenance and mixed reality-supported remote assistance,” *Procedia Manuf.*, vol. 45, pp. 307–312, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.022.
- [9] A. Binding, N. Dykeman, and S. Pang, “Machine learning predictive maintenance on data in the wild,” *IEEE 5th World Forum Internet Things, WF-IoT 2019 - Conf. Proc.*, pp. 507–512, 2019, doi: 10.1109/WF-IoT.2019.8767312.
- [10] M. Calabrese *et al.*, “SOPHIA: An event-based IoT and machine learning architecture for predictive maintenance in industry 4.0,” *Inf.*, vol. 11, no. 4, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/INFO11040202.
- [11] Z. Allah Bukhsh, A. Saeed, I. Stipanovic, and A. G. Doree, “Predictive maintenance using tree-based classification techniques: A case of railway switches,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 101, no. January, pp. 35–54, 2019, doi: 10.1016/j.trc.2019.02.001.
- [12] S. Schwendemann, Z. Amjad, and A. Sikora, “A survey of machine-learning techniques for condition monitoring and predictive maintenance of bearings in grinding machines,” *Comput. Ind.*, vol. 125, p. 103380, 2021, doi: 10.1016/j.compind.2020.103380.
- [13] J. Zenisek, F. Holzinger, and M. Affenzeller, “Machine learning based concept drift detection for predictive maintenance,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 137, no. August, p. 106031, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.106031.
- [14] Z. M. Çınar, A. A. Nuhu, Q. Zeeshan, and O. Korhan, “Sustainability-12-08211-V3.Pdf,” *Sustainability*, no. ML, 2020.
- [15] B. Taşçı, A. Omar, and S. Ayvaz, “Remaining useful lifetime prediction for predictive maintenance in manufacturing,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 184, no. February 2023, p. 109566, 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109566.
- [16] S. Ayvaz and K. Alpay, “Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 173, no. November 2020, p. 114598, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.114598.
- [17] L. P. Silvestrin, M. Hoogendoorn, and G. Koole, “A Comparative Study of State-of-the-Art Machine Learning Algorithms for Predictive Maintenance,” *2019 IEEE Symp. Ser. Comput. Intell. SSCI 2019*, pp. 760–767, 2019, doi: 10.1109/SSCI44817.2019.9003044.
- [18] T. P. Carvalho, F. A. A. M. N. Soares, R. Vita, R. da P. Francisco, J. P. Basto, and S. G. S. Alcalá, “A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 137, p. 106024, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.106024.
- [19] A. Theissler, J. Pérez-Velázquez, M. Kettelgerdes, and G. Elger, “Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 215, p. 107864, 2021, doi: 10.1016/j.ress.2021.107864.
- [20] S. Behera, Y. S. Patel, A. Choubey, R. Misra, C. S. Kanani, and A. Sillitti, “Ensemble trees learning based improved predictive maintenance using IIoT for turbofan engines,” *Proc. ACM Symp. Appl. Comput.*, vol. Part F1477, pp. 842–850, 2019, doi: 10.1145/3297280.3297363.