

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam industri manufaktur yang kompetitif, menjaga ketersediaan (*availability*) mesin adalah faktor strategis yang berpengaruh langsung pada kapasitas produksi dan stabilitas operasi. Gangguan mendadak dapat menghentikan proses dan mengancam pencapaian target, sehingga strategi manajemen perawatan menjadi aspek krusial bagi keberlanjutan bisnis dan keandalan sistem multi-komponen [1]. Pendekatan manual atau berbasis intuisi sudah tidak memadai lagi karena tidak mampu memberikan informasi prediktif tentang kapan perawatan perlu dilakukan guna mengurangi biaya kegagalan mesin [2]. Tanpa adanya intervensi yang tepat waktu baik untuk menghindari perawatan yang terlalu dini maupun mencegah keterlambatan penanganan efisiensi operasional akan menurun secara drastis [3]. Oleh sebab itu, pemanfaatan analisis data historis melalui metode peramalan (*forecasting*) menjadi esensial untuk mengantisipasi kerusakan mesin secara preventif sebelum kerusakan fungsional terjadi [4]. Secara teoretis, peramalan memberikan estimasi nilai di masa depan dengan memanfaatkan pola historis dalam data, sehingga manajemen dapat meminimalkan insiden tak terduga dan mengoptimalkan siklus operasional mesin secara terukur [5].

Meskipun data *usage counter* (sebagai representasi metrik *pmCounter*) pada perusahaan manufaktur di Kawasan Lobam sudah terekam secara otomatis setiap delapan jam dalam basis data terpusat, data kuantitatif tersebut belum dimanfaatkan secara analitis. Informasi itu sejauh ini hanya menjadi arsip pasif, sementara penjadwalan *Preventive Maintenance* tetap bergantung pada prosedur pemeriksaan manual oleh teknisi yang harus mengecek satu per satu nilai counter untuk memastikan tingkat kedekatannya dengan batas ambang perawatan. Prosedur manual ini memicu permasalahan ganda, proses pengecekan individual menyita waktu teknisi dan mengalihkan fokus dari pekerjaan inti, sementara tingginya ketergantungan pada pembacaan visual sangat rentan memicu *human error* yang berujung pada penjadwalan pemeliharaan yang tidak optimal [6]. Akibatnya, keterlambatan deteksi anomali menjadi kelaziman dan perawatan mesin cenderung

bersifat reaktif, yakni baru dilakukan saat mesin telah berada pada kondisi kritis atau setelah mengalami *downtime*.

Situasi ini menegaskan urgensi pengembangan sistem prediksi otomatis yang mampu memberikan peringatan dini (*early warning*) secara presisi dan konsisten melalui pemodelan deret waktu (*time series*) [7]. Sebagai solusi strategis atas permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem *Predictive Maintenance* dengan pendekatan peramalan kuantitatif. Mengingat karakteristik deret data *usage counter* mesin memiliki kecenderungan pola yang meningkat secara konstan (monotonik naik) seiring berjalannya siklus produksi, metode *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES) dipilih sebagai algoritma inti karena keunggulannya dalam meramalkan data dengan tren linear, yang sangat sesuai dengan karakteristik akumulasi angka pada *usage counter* [8]. Kemampuan B-DES dalam memproses data historis memungkinkan sistem untuk memproyeksikan kapan nilai *counter* tersebut akan menyentuh batas ambang (*limit counter*) perawatan mesin. Secara fundamental analitik, algoritma pemulusan B-DES dikembangkan secara khusus untuk mengekstraksi dan meramalkan rangkaian data yang secara eksplisit mengandung elemen tren linear [9].

Keunggulan komparatif dari metode B-DES terletak pada kemampuannya untuk mengalokasikan bobot eksponensial yang lebih besar pada observasi terbaru, sehingga mampu memberikan respons yang jauh lebih cepat dan sensitif terhadap fluktuasi perubahan tren data terkini [10]. Algoritma ini dinilai sangat efektif untuk peramalan horizon jangka pendek, terutama karena ia mengandalkan satu parameter pemulusan tunggal (α) yang meminimalisir kompleksitas perhitungan sekaligus hanya membutuhkan kuantitas data historis yang relatif minimal [11]. Karakteristik matematis ini sangat relevan dengan realitas kondisi operasional pabrik yang dinamis, di mana utilitas dan kecepatan produksi mesin dapat berubah sewaktu-waktu. Selain itu, optimasi model pemulusan ganda ini telah terbukti menghasilkan proyeksi dengan akurasi yang presisi dan tingkat kesalahan prediktif yang rendah [12].

Kajian literatur terdahulu membuktikan bahwa B-DES memiliki performa peramalan yang sangat kompetitif dalam berbagai konteks pemodelan data ber-tren. Sebuah studi empiris membuktikan bahwa B-DES memberikan tingkat akurasi

yang lebih unggul dibandingkan metode Holt pada pengolahan data produksi air bersih yang memiliki pola tren berkelanjutan [13]. Metode ini juga telah diimplementasikan dengan galat (*error*) yang sangat minim dalam memprediksi fluktuasi jumlah kunjungan pasien rawat jalan untuk mendukung perencanaan alokasi sumber daya kesehatan [14]. Lebih lanjut, pendekatan peramalan B-DES memperlihatkan performa akurasi yang lebih tinggi saat dikomparasikan dengan algoritma *Exponential Moving Average* pada kasus peramalan volume penjualan [15]. Namun, sintesis dari literatur tersebut mengungkap sebuah celah penelitian (*research gap*) yaitu mayoritas studi menguji B-DES pada data publik, ekonomi komersial, atau sektor jasa, dan masih sangat terbatas penelitian yang secara spesifik berfokus pada peramalan variabel *usage counter* mesin sebagai indikator utama dalam ekosistem manufaktur.

Berdasarkan celah penelitian dan permasalahan operasional tersebut, urgensi dari penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk menjembatani ketersediaan data *usage counter* yang melimpah dengan ketiadaan sistem otomasi penunjang keputusan di rantai produksi. Jika mekanisme pemantauan manual dan reaktif ini terus dipertahankan, perusahaan akan secara kontinu terpapar risiko *downtime* mesin yang tak terduga, pembengkakan biaya perbaikan, serta inefisiensi alokasi tenaga teknis. Oleh karena itu, penerapan algoritma *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES) pada sistem pemeliharaan ini bukan lagi sekadar eksperimen akademis, melainkan sebuah keharusan strategis. Sistem ini secara krusial dibutuhkan untuk segera mentransformasi arsip data yang sebelumnya pasif menjadi instrumen peringatan dini (*early warning system*) yang objektif, presisi, dan terkomputerisasi. Tanpa adanya intervensi sistem prediktif ini, jadwal pencegahan akan selalu tertinggal dari laju degradasi mesin yang sesungguhnya, yang pada akhirnya dapat mengancam stabilitas target produksi perusahaan secara keseluruhan.

Sebagai solusi strategis atas permasalahan operasional tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem *predictive maintenance* yang secara spesifik difokuskan pada proyeksi akumulasi nilai *usage counter* mesin. Pemilihan metode *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES) sebagai algoritma inti didasarkan pada kesesuaiannya terhadap karakteristik deret data *usage counter*, yang memiliki

kecenderungan pola tren peningkatan secara konstan (monotonik naik) seiring berjalannya siklus produksi. Secara komputasional, kemampuan metode B-DES dalam mengolah data historis memungkinkan sistem untuk memproduksi *output* berupa estimasi angka penggunaan mesin di masa mendatang. Pada tahap akhir analitik, nilai proyeksi *counter* tersebut akan dikomparasikan dengan parameter *limit counter* (ambang batas perawatan). Melalui mekanisme komparasi kuantitatif ini, sistem dapat mendeteksi secara presisi estimasi waktu kapan mesin akan menyentuh batas maksimal operasionalnya, sehingga eksekusi pemeliharaan dapat bertransformasi dari pendekatan reaktif menjadi proaktif dan terukur. Berdasarkan urgensi pemecahan masalah serta landasan justifikasi teoretis tersebut, maka penulis bermaksud melakukan penelitian komprehensif dengan mengangkat judul “Prediksi *Usage Counter* Mesin Produksi Untuk Menentukan Waktu *Maintenance* Menggunakan Algoritma *Brown's Double Exponential Smoothing*”.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, Kesenjangan ini menimbulkan pertanyaan inti: “Bagaimana akurasi dari *Brown's Double Exponential Smoothing* dalam memprediksi waktu perawatan mesin produksi?”

C. Batasan Penelitian

Mengingat kompleksitas sistem produksi serta keterbatasan waktu dan ketersediaan data, batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

- a. Objek dan Ruang Lingkup Data: Penelitian dilakukan di salah satu perusahaan manufaktur di kawasan Lobam, menggunakan data sekunder historis dengan interval pencatatan per 8 jam yang dibatasi secara spesifik pada satu jenis mesin produksi. Sampel data historis yang digunakan berjumlah 183 titik data, yang diambil dari periode bulan November hingga Desember 2025.
- b. Kondisi dan Variabel Data: Data yang digunakan adalah data operasional mesin yang berjalan normal. Variabel input dibatasi pada *Usage Counter*, karena memiliki karakteristik pola tren linear yang paling representatif untuk diolah menggunakan model peramalan runtun waktu tunggal, data

mesin yang digunakan memiliki nilai batas limit penggunaan yang telah ditetapkan oleh perusahaan sejumlah 1.500.000.

- c. Metode peramalan dalam penelitian ini dibatasi pada penggunaan algoritma *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES). Algoritma ini dipilih karena dinilai responsif dalam memodelkan pola data yang memiliki kecenderungan tren linear (positif) seiring bertambahnya waktu operasional mesin. Untuk proses optimasinya, pencarian nilai parameter pemulusan α terbaik dibatasi menggunakan metode komputasi *Grid Search* secara iteratif. Adapun evaluasi untuk menentukan tingkat kesalahan prediksi (galat) terendah selama tahap pelatihan data dibatasi menggunakan teknik validasi persilangan deret waktu, yaitu *Walk-Forward Validation*.
- d. Evaluasi Kinerja Sistem: Pengujian tingkat akurasi dan validasi model dilakukan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* dan *Root Mean Square Error* untuk mengukur besaran persentase penyimpangan hasil prediksi terhadap data aktual pada jenis mesin yang diuji.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

“Mengukur tingkat akurasi metode *Brown's Double Exponential Smoothing* dalam memprediksi waktu perawatan mesin”.

E. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang hendak dicapai, penelitian ini diharapkan memberikan dampak positif dan kegunaan sebagai berikut:

1. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEKS)

- a. Memperkaya khasanah literatur dan referensi akademik mengenai penerapan metode peramalan (*forecasting*) deret waktu, khususnya algoritma *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES) pada kasus *Preventive Maintenance* di industri manufaktur.
- b. Membuktikan keandalan algoritma B-DES dalam menangani data tunggal (*univariate*) bertipe *usage counter* yang memiliki karakteristik tren linear monotonik untuk memprediksi sisa umur aset.

2. Bagi Industri dan Pengambil Keputusan (Pembangunan)

- a. Menyediakan alat bantu pengambilan keputusan (*decision support tool*) bagi manajemen perusahaan dalam menyusun jadwal perawatan mesin. Sistem ini memberikan rekomendasi jadwal yang lebih terstruktur berdasarkan pendekatan analisis data historis (*data-driven*).
- b. Mengoptimalkan efisiensi operasional dengan mentransformasi proses pemantauan yang sebelumnya manual dan rentan kesalahan manusia (*human error*) menjadi sistem otomatis yang terintegrasi.
- c. Meningkatkan jaminan ketersediaan mesin (*machine availability*) melalui mekanisme peringatan dini (*early warning*), sehingga tim teknis dapat melakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi kerusakan fatal yang mengganggu target pembangunan atau produksi.

3. Bagi Peneliti

- a. Meningkatkan keterampilan dalam pengembangan algoritma peramalan dan logika pemrograman, serta pemahaman mendalam mengenai siklus hidup aset (*asset life cycle*) dalam manajemen pemeliharaan.
- b. Menjadi sarana implementasi nyata dari teori statistika dan komputasi yang dipelajari di bangku kuliah, khususnya dalam mentransformasi data mentah menjadi informasi strategis bagi sektor industri.

Tabel 1. Keaslian Penelitian

Indikator	Penelitian Terdahulu	Penelitian Sebelumnya	Penelitian yang diusulkan
Judul	Perbandingan Peramalan Jumlah Produksi Air Bersih PT. Air Minum Giri Menang dengan Metode <i>Double Exponential Smoothing</i> dari Holt dan Brown menggunakan Optimasi Algoritma Kuadratik	Sistem Prediksi <i>Planned Maintenance</i> Studi Kasus di PT. XYZ	Prediksi <i>Usage Counter</i> Mesin Produksi Untuk Menentukan Waktu <i>Maintenance</i> Menggunakan Algoritma <i>Brown's Double Exponential Smoothing</i>
Tahun	2024 [16]	2022 [17]	2026
Metode	<i>Double Exponential Smoothing</i> (Holt & Brown), Optimasi Algoritma Kuadratik	<i>Single Exponential Smoothing</i> (Pemulusan Eksponensial Tunggal)	<i>Brown's Double Exponential Smoothing</i> (B-DES)
Bagian yang diidentifikasi	Perbandingan tingkat akurasi peramalan (<i>forecasting</i>) menggunakan dua metode pemulusan eksponensial ganda yang dioptimasi parameternya.	Memprediksi jadwal pemeliharaan menggunakan pemulusan data historis secara sederhana tanpa memperhitungkan faktor tren data yang terus naik.	Mengaplikasikan algoritma peramalan deret waktu (B-DES) dengan optimasi iteratif pada metrik operasional (<i>Usage Counter</i>) untuk perawatan prediktif.
Hasil	Metode DES Brown (MAPE 3,29%) terbukti lebih unggul dibandingkan DES Holt (MAPE 3,96%). Optimasi algoritma kuadratik sangat efisien dalam menemukan parameter pemulusan terbaik.	Terbentuknya sistem prediksi kerusakan mesin. Namun, karena menggunakan <i>Single Exponential Smoothing</i> , metode ini kurang optimal dan memiliki tingkat <i>error</i> tinggi jika diterapkan pada data <i>usage counter</i> yang memiliki tren linier positif.	Hasil penelitian ini direncanakan akan Mengukur tingkat akurasi metode <i>Brown's Double Exponential Smoothing</i> dalam memprediksi waktu perawatan mesin menggunakan MAPE dan RMSE.