

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

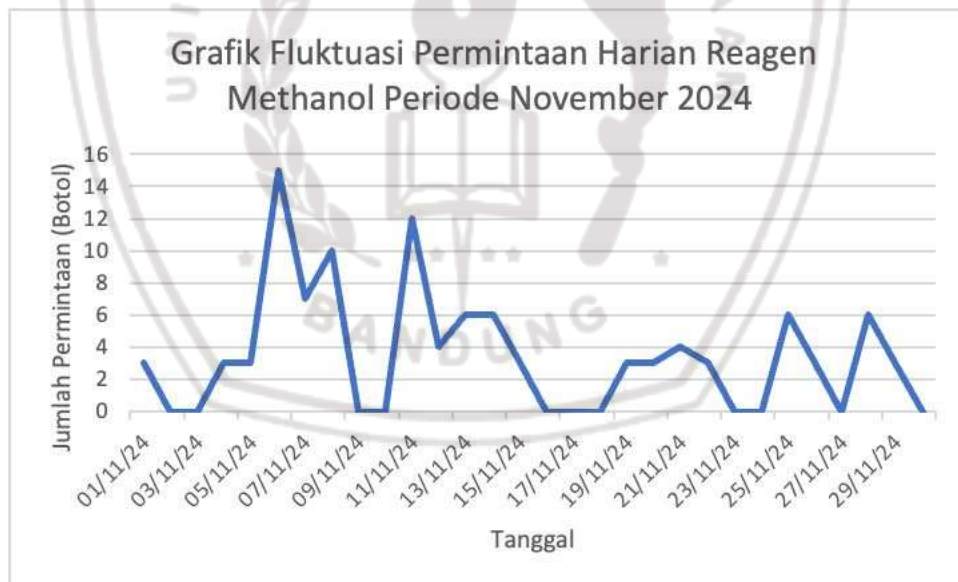
Pengendalian persediaan merupakan salah satu aspek penting dalam menjaga kelancaran operasional laboratorium *Quality Control* (QC), khususnya dalam menjamin ketersediaan reagen yang digunakan pada setiap proses pengujian. Ketersediaan reagen yang tidak sesuai dengan kebutuhan dapat menghambat aktivitas analisis laboratorium, sedangkan persediaan yang berlebihan berpotensi meningkatkan biaya penyimpanan serta risiko kedaluwarsa. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian persediaan yang mampu menjaga keseimbangan antara tingkat pelayanan dan efisiensi persediaan.

Laboratorium *Quality Control* Unit 1 PT Sanbe Farma merupakan salah satu unit yang bertanggung jawab melakukan pengujian mutu bahan baku, produk antara, maupun produk jadi sebelum didistribusikan. Dalam pelaksanaannya, penggunaan reagen sangat bergantung pada jumlah sampel yang diterima setiap hari sehingga kebutuhan reagen bersifat dinamis. Permintaan reagen dilakukan oleh analis kepada koordinator reagen setelah stok yang tersedia habis digunakan dalam proses pengujian, kemudian reagen dipenuhi melalui gudang atau laboratorium pusat. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah permintaan reagen dapat berubah dari hari ke hari mengikuti aktivitas pengujian yang berlangsung.

Berdasarkan data historis permintaan reagen periode Januari 2022 hingga Desember 2025, terdapat tiga reagen dengan tingkat penggunaan tertinggi (*fast-moving*), yaitu Methanol, Acetonitrile, dan Ethanol, yang secara kumulatif menyumbang 80,54% dari total permintaan reagen selama periode penelitian. Tingginya frekuensi penggunaan ketiga reagen tersebut

menjadikannya sebagai komponen yang paling kritis dalam mendukung kelancaran aktivitas laboratorium. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada ketiga reagen tersebut sebagai objek utama analisis.

Analisis terhadap data historis menunjukkan bahwa permintaan reagen memiliki pola yang berfluktuasi dari hari ke hari. Sebagai contoh, permintaan reagen Methanol selama periode Januari 2022 hingga Desember 2025 berada pada rentang 0–15 botol per hari dengan rata-rata sekitar 3 botol per hari. Variasi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan reagen tidak bersifat konstan sehingga penentuan jumlah persediaan berdasarkan rata-rata historis sederhana berpotensi menghasilkan keputusan persediaan yang kurang optimal. Untuk menggambarkan karakteristik fluktuasi tersebut, Gambar 1.1 menyajikan pola permintaan harian reagen Methanol pada bulan November 2024 sebagai representasi kondisi permintaan selama periode penelitian.



Gambar 1.1 Grafik Fluktuasi Permintaan Harian Reagen Methanol Periode November 2024

Sumber: Hasil pengolahan data permintaan harian reagen Methanol periode November 2024, Laboratorium *Quality Control* Unit 1 PT Sanbe Farma

Berdasarkan Gambar 1.1 terlihat bahwa jumlah permintaan mengalami perubahan yang cukup tajam antar hari, mulai dari kondisi tanpa permintaan hingga mencapai nilai maksimum pada hari tertentu. Pola tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan reagen dipengaruhi oleh aktivitas pengujian laboratorium yang berubah setiap hari sehingga tingkat permintaan sulit diprediksi apabila hanya menggunakan pendekatan konvensional.

Selain ditunjukkan oleh pola permintaan yang fluktuatif, kondisi tersebut juga terkonfirmasi secara kuantitatif melalui analisis data pemenuhan reagen periode Januari 2022 hingga Desember 2025. Berdasarkan data tersebut, tercatat sebanyak 24 kejadian di mana permintaan reagen dari laboratorium tidak dapat dipenuhi secara penuh oleh gudang pusat, dengan total kekurangan mencapai 51 botol reagen. Reagen Methanol mencatat frekuensi tertinggi dengan 13 kejadian dan kekurangan 28 botol, diikuti Acetonitrile dengan 9 kejadian dan kekurangan 21 botol, serta Ethanol dengan 2 kejadian dan kekurangan 2 botol. Kondisi ini semakin memburuk pada tahun 2025, di mana jumlah kejadian tidak terpenuhi melonjak menjadi 14 kejadian dengan total kekurangan 29 botol, meningkat lebih dari tiga kali lipat dibandingkan rata-rata tiga tahun sebelumnya (2022–2024) yang hanya mencapai 7 kejadian per tahun. Apabila ditinjau dari perspektif finansial, berdasarkan harga referensi reagen dari distributor resmi, estimasi nilai kekurangan reagen selama periode penelitian mencapai Rp 490.417.000,- yang terdiri dari kekurangan 28 botol Methanol senilai Rp 188.916.000,- kekurangan 21 botol Acetonitrile senilai Rp 285.411.000,- dan kekurangan 2 botol Ethanol senilai Rp 16.090.000,-. Nilai tersebut belum memperhitungkan dampak tidak langsung berupa potensi penundaan jadwal pengujian sampel yang dapat terjadi akibat ketidaktersediaan reagen pada waktu yang dibutuhkan, mengingat setiap penundaan pengujian di laboratorium QC berpotensi menghambat proses rilis produk yang berdampak langsung pada rantai distribusi produk farmasi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem persediaan yang diterapkan belum sepenuhnya mampu

mengantisipasi fluktuasi permintaan, sehingga intervensi sistematis berbasis data menjadi semakin mendesak.

Karakteristik reagen yang memiliki masa kedaluwarsa (*shelf-life*) juga menambah kompleksitas dalam pengelolaan persediaan. Persediaan yang terlalu sedikit dapat meningkatkan risiko *stockout* dan menghambat aktivitas pengujian, sedangkan persediaan yang terlalu banyak berpotensi menyebabkan *overstock* dan pemborosan akibat reagen yang kedaluwarsa sebelum digunakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang diharapkan mampu menghasilkan prediksi permintaan secara lebih akurat sehingga penentuan jumlah persediaan dapat dilakukan secara lebih tepat.

Salah satu pendekatan yang dinilai mampu mengakomodasi karakteristik permintaan tersebut adalah algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost). Algoritma ini dipilih karena memiliki kemampuan yang baik dalam memodelkan hubungan nonlinier serta menangkap pola permintaan yang kompleks berdasarkan data historis. Dengan memanfaatkan hasil prediksi permintaan harian, kebijakan pengendalian persediaan dapat disusun secara lebih adaptif dibandingkan pendekatan konvensional yang hanya mengandalkan rata-rata historis.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan *machine learning* mampu meningkatkan akurasi peramalan permintaan dibandingkan metode statistik konvensional. Barghi dan De (2025) menunjukkan bahwa algoritma *boosting ensemble* dapat diintegrasikan dengan sistem pengendalian persediaan untuk mendukung penentuan parameter persediaan secara otomatis. Hidayat dan Sulistiyono (2025) juga melaporkan bahwa XGBoost memberikan tingkat akurasi yang baik pada sistem persediaan sektor kesehatan. Selain itu, Avinash dkk. (2024) dan Wardhana dkk. (2022) menunjukkan bahwa algoritma berbasis *tree learning* memiliki kinerja yang unggul dalam memodelkan data permintaan yang bersifat fluktuatif.

Meskipun demikian, penelitian terdahulu umumnya masih berfokus pada peramalan permintaan atau pengendalian persediaan secara terpisah serta banyak diterapkan pada sektor ritel maupun manufaktur umum. Penelitian yang mengintegrasikan hasil prediksi permintaan berbasis *machine learning* dengan kebijakan pengendalian persediaan pada reagen laboratorium farmasi yang bersifat *perishable* dan *fast-moving* masih relatif terbatas.

Penelitian ini menutup kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan algoritma XGBoost dengan sistem *Continuous Review* (s,Q) secara lengkap mencakup *Safety Stock*, ROP, dan EOQ dalam konteks pengendalian persediaan reagen laboratorium *Quality Control* industri farmasi yang bersifat *perishable* dan *fast-moving*. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya membatasi kontribusinya pada tahap peramalan permintaan semata, penelitian ini membangun satu kerangka terintegrasi dari peramalan permintaan harian berbasis XGBoost hingga penetapan parameter sistem (s,Q) yang dapat langsung diimplementasikan sebagai dasar keputusan pengadaan reagen di laboratorium, sehingga kontribusi utama penelitian ini bukan hanya pada akurasi peramalan, melainkan pada keutuhan rantai keputusan dari prediksi hingga kebijakan persediaan yang operasional dan terukur.

Berdasarkan fenomena operasional, hasil analisis data, serta kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan untuk membangun model prediksi permintaan reagen menggunakan algoritma XGBoost sebagai dasar dalam optimasi pengendalian persediaan di Laboratorium *Quality Control* Unit 1 PT Sanbe Farma. Oleh karena itu, penelitian ini berjudul “Optimasi Pengendalian Persediaan Reagen Laboratorium QC Berdasarkan Prediksi Fluktuasi Permintaan Menggunakan Algoritma *Machine Learning* (XGBoost).”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola fluktuasi permintaan reagen pada laboratorium *Quality Control* berdasarkan data historis permintaan harian?
2. Bagaimana penerapan algoritma *Machine Learning Extreme Gradient Boosting (XGBoost)* dalam memprediksi fluktuasi permintaan reagen pada laboratorium QC?
3. Bagaimana tingkat akurasi model prediksi permintaan yang dihasilkan oleh algoritma *XGBoost* berdasarkan evaluasi menggunakan metrik *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*?
4. Bagaimana integrasi hasil prediksi permintaan dengan perhitungan *Economic Order Quantity (EOQ)*, *safety stock* dan *reorder point* untuk mengoptimalkan pengendalian persediaan reagen pada laboratorium QC?
5. Bagaimana perbandingan *Total Inventory Cost (TIC)* antara sistem persediaan eksisting dengan sistem persediaan usulan berbasis algoritma *XGBoost* dan *Economic Order Quantity (EOQ)* pada Laboratorium *Quality Control* Unit 1 PT Sanbe Farma?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pola fluktuasi permintaan reagen pada laboratorium *Quality Control (QC)* berdasarkan data historis permintaan harian.
2. Mengembangkan model prediksi permintaan reagen menggunakan algoritma *Machine Learning Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*.
3. Mengevaluasi tingkat akurasi model prediksi menggunakan metrik *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*.

4. Mengoptimalkan pengendalian persediaan reagen melalui integrasi hasil prediksi permintaan dengan perhitungan *Economic Order Quantity*, *Safety Stock* dan *Reorder Point* (ROP) yang bersifat dinamis.
5. Menganalisis efisiensi biaya persediaan melalui perbandingan *Total Inventory Cost* (TIC) antara sistem eksisting dan sistem usulan berbasis algoritma XGBoost dan *Economic Order Quantity* (EOQ).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya persinggungan antara bidang manajemen persediaan (*inventory management*) dan analisis data berbasis *Machine Learning*. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi literatur bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penerapan algoritma *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) dalam peramalan permintaan (*demand forecasting*) dan pengendalian persediaan yang bersifat dinamis.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi pihak laboratorium *Quality Control* (QC) terkait peningkatan efektivitas pengelolaan persediaan reagen melalui pendekatan prediktif berbasis data. Dengan adanya model prediksi permintaan yang tingkat akurasi terukur, pihak laboratorium dapat meminimalkan risiko terjadinya kekurangan persediaan (*stockout*) maupun penumpukan stok (*overstock*), menekan biaya kerugian akibat reagen kedaluwarsa, serta meningkatkan efisiensi operasional laboratorium secara keseluruhan.

3. Manfaat bagi Peneliti

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana bagi peneliti untuk mengaplikasikan dan mengintegrasikan ilmu keahlian yang diperoleh selama masa perkuliahan di program studi Teknik Industri, khususnya dalam penerapan metode optimasi sistem, analisis data historis, dan perancangan pengendalian persediaan yang adaptif berbasis teknologi *Machine Learning*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, fokus pada tujuan yang ingin dicapai, dan tidak menyimpang dari ruang lingkup yang telah ditetapkan, maka penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan secara spesifik pada laboratorium *Quality Control (QC) Unit 1 PT Sanbe Farma*.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini difokuskan pada data historis permintaan reagen harian selama periode Januari 2022 hingga Desember 2025. Data tersebut dibatasi secara spesifik pada tiga jenis reagen yang dikategorikan sebagai *fast-moving items*, yaitu reagen dengan frekuensi penggunaan tertinggi berdasarkan data permintaan selama periode pengamatan, yang menyumbang sebesar 80,54% dari total permintaan reagen selama empat tahun pada laboratorium *Quality Control Unit 1 PT Sanbe Farma*.
3. Metode peramalan permintaan yang digunakan dalam penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan algoritma *Machine Learning Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*.
4. Evaluasi kinerja model prediksi hanya dilakukan menggunakan metrik *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*.

5. Hasil prediksi permintaan dari algoritma XGBoost digunakan secara eksklusif sebagai parameter dalam perhitungan *Economic Order Quantity*, *Safety Stock* dan *Reorder Point* (ROP) yang bersifat dinamis untuk mendukung pengendalian persediaan reagen.
6. Penelitian ini mengasumsikan sistem distribusi berjalan normal dan tidak membahas proses pengadaan reagen dari pihak ketiga (*supplier*), termasuk negosiasi *lead time* pemasok dari sumber eksternal. Analisis biaya persediaan dalam penelitian ini dibatasi pada komponen biaya pemesanan (*ordering cost*) dan biaya penyimpanan (*holding cost*) pada sistem distribusi internal perusahaan, dengan menggunakan asumsi biaya yang diestimasi berdasarkan kondisi operasional aktual laboratorium QC Unit 1 PT Sanbe Farma.
7. Aliran permintaan dalam penelitian ini dibatasi pada sistem distribusi internal perusahaan, yaitu dari Laboratorium *Quality Control* (QC) Unit 1 sebagai pengguna akhir kepada gudang pusat sebagai penyedia reagen, sehingga tidak mencakup proses pengadaan dari *supplier* eksternal. Pembatasan ini dilakukan untuk menjaga fokus penelitian pada pengendalian persediaan berbasis data permintaan internal.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun untuk memberikan gambaran mengenai struktur dan alur pembahasan skripsi secara sistematis. Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah yang menguraikan kondisi persediaan reagen yang bersifat fluktuatif serta risiko *stockout* dan *overstock* pada material *perishable*. Selain itu, bab ini memuat identifikasi masalah,

rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan asumsi, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat landasan teori yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian, meliputi konsep manajemen persediaan, karakteristik *perishable inventory*, peramalan permintaan, *machine learning*, algoritma XGBoost, evaluasi model menggunakan RMSE dan MAPE, serta konsep *dynamic safety stock* dan *reorder point*. Selain itu, disajikan penelitian terdahulu dan kerangka konseptual penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan secara sistematis, meliputi objek dan waktu penelitian, variabel penelitian, teknik pengumpulan data, pemodelan menggunakan algoritma XGBoost, serta teknik pengolahan dan analisis data. Selain itu, disajikan diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan mulai dari *preprocessing data*, pemodelan, evaluasi model, hingga perhitungan parameter persediaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil pengumpulan dan pengolahan data serta analisis yang dilakukan dalam penelitian. Pembahasan mencakup proses *preprocessing*, pelatihan dan pengujian model XGBoost, evaluasi akurasi menggunakan RMSE dan MAPE, perhitungan *dynamic safety stock* dan *reorder point*, serta analisis perbandingan antara sistem persediaan aktual dengan sistem usulan. Selain itu, dibahas pula dampak penerapan model terhadap penurunan risiko *stockout*, *overstock*, dan pemborosan akibat kedaluwarsa.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran yang dapat diberikan untuk implementasi praktis di laboratorium *Quality Control* maupun pengembangan penelitian selanjutnya.

