

BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab ini membahas teori-teori yang mendasari penelitian mengenai optimasi pengolahan data material pemeliharaan pesawat menggunakan metode sorting. Teori yang dibahas meliputi konsep pengolahan data, algoritma sorting, kompleksitas algoritma, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian.

2.1 Manajemen Inventory

Manajemen inventory merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengelola persediaan barang agar jumlah material yang tersedia sesuai dengan kebutuhan operasional tanpa menyebabkan kelebihan maupun kekurangan stok. Tujuan utama manajemen inventory adalah menjaga keseimbangan antara biaya penyimpanan, biaya pemesanan, serta tingkat pelayanan sehingga aktivitas operasional perusahaan dapat berjalan secara efektif dan efisien [8].

Menurut Heizer, Render, dan Munson (2020), inventory management merupakan proses pengendalian persediaan yang bertujuan untuk memastikan ketersediaan barang pada waktu yang tepat dengan biaya yang optimal [8]. Persediaan yang dikelola dengan baik dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi risiko kehabisan stok (stockout), serta mendukung kelancaran proses produksi maupun pelayanan kepada pelanggan [8].

Dalam lingkungan perusahaan, persediaan memiliki beberapa fungsi penting, antara lain sebagai penyangga terhadap ketidakpastian permintaan (buffer stock), menjaga kelancaran proses operasional, mengantisipasi keterlambatan pengadaan material, serta meningkatkan fleksibilitas perusahaan dalam memenuhi kebutuhan pengguna [9]. Oleh karena itu, sistem manajemen inventory menjadi salah satu komponen penting dalam sistem informasi perusahaan.

Pada perusahaan Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO), pengelolaan inventory memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan industri pada umumnya. Hal ini disebabkan oleh tingginya variasi komponen pesawat, kebutuhan material yang bersifat tidak menentu (intermittent demand), serta tuntutan terhadap kecepatan penyediaan material agar proses pemeliharaan pesawat tidak mengalami keterlambatan [7].

2.2 Inventory Spare Parts Pesawat

Inventory spare parts pesawat merupakan persediaan komponen yang digunakan untuk mendukung kegiatan maintenance, repair, dan overhaul (MRO) agar pesawat tetap memenuhi persyaratan kelaikan udara (airworthiness). Berbeda dengan inventory pada industri manufaktur atau perdagangan, inventory spare parts pesawat harus memenuhi persyaratan keselamatan penerbangan sehingga setiap komponen wajib memiliki identitas yang jelas, sertifikasi yang sesuai, serta dokumentasi yang lengkap mengenai riwayat penggunaan dan pemeliharaannya [8].

Salah satu karakteristik utama inventory spare parts pesawat adalah adanya traceability, yaitu kemampuan untuk menelusuri riwayat suatu komponen mulai dari proses pengadaan, penyimpanan, pemasangan, hingga pelepasan dari pesawat. Informasi tersebut umumnya meliputi part number, serial number, tanggal pemasangan, riwayat perawatan, serta status kelaikan komponen. Penerapan traceability bertujuan untuk menjamin keselamatan penerbangan, mempermudah proses inspeksi, serta memastikan bahwa setiap komponen yang digunakan memenuhi persyaratan regulator penerbangan [5].

Selain itu, kebutuhan spare parts pesawat bersifat tidak menentu (intermittent demand) sehingga sulit diprediksi dibandingkan permintaan pada industri manufaktur. Beberapa komponen hanya digunakan ketika terjadi kerusakan tertentu atau ketika telah mencapai batas usia pakai (life limit). Kondisi tersebut menyebabkan perusahaan MRO harus menjaga ketersediaan material tertentu agar proses pemeliharaan tidak mengalami keterlambatan [7].

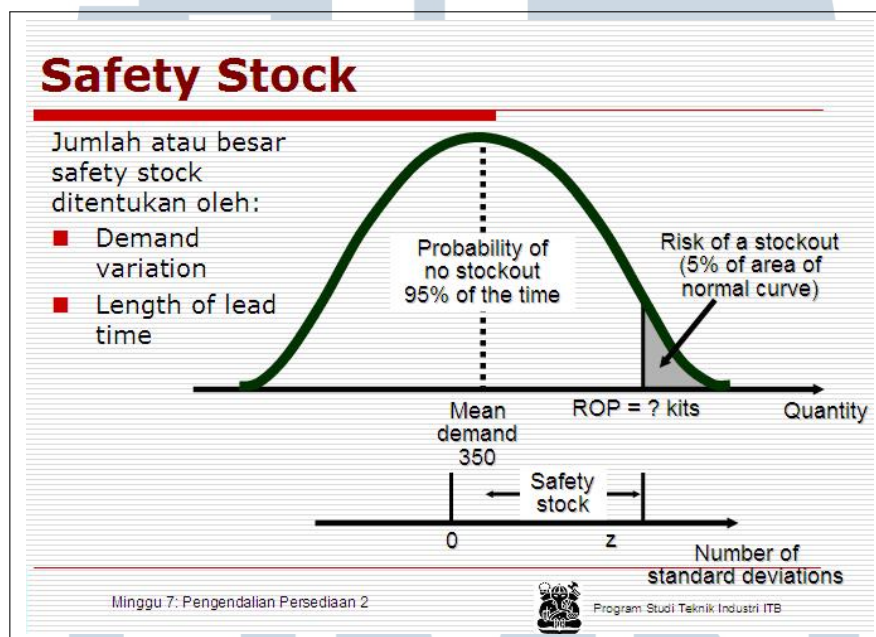
Ketidaktersediaan komponen yang dibutuhkan dapat menyebabkan kondisi Aircraft on Ground (AOG), yaitu keadaan ketika pesawat tidak dapat dioperasikan karena menunggu ketersediaan material yang diperlukan untuk proses pemeliharaan. Kondisi AOG dapat menimbulkan kerugian operasional, mengganggu jadwal penerbangan, serta meningkatkan biaya yang harus ditanggung oleh operator pesawat. Oleh karena itu, pengelolaan inventory spare parts yang akurat, cepat, dan terstruktur menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung kelancaran operasional perusahaan MRO [5], [7].

2.3 Safety Stock

Safety stock merupakan persediaan cadangan yang disimpan untuk mengantisipasi ketidakpastian permintaan (demand uncertainty) maupun

keterlambatan pengadaan (lead time). Keberadaan safety stock bertujuan untuk mengurangi risiko terjadinya kekurangan persediaan (stockout) sehingga kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan secara berkesinambungan [9].

Menurut Chopra dan Meindl, safety stock berfungsi sebagai penyangga (buffer inventory) untuk menjaga tingkat pelayanan (service level) ketika terjadi fluktuasi permintaan atau keterlambatan pasokan dari pemasok. Penentuan jumlah safety stock dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti variasi permintaan, variasi lead time, serta tingkat layanan (service level) yang ingin dicapai perusahaan [9].



Gambar 2.1. Konsep Safety Stock [3]

Pada industri penerbangan, safety stock memiliki peran yang sangat penting karena kebutuhan spare parts bersifat tidak menentu (intermittent demand) dan beberapa komponen memiliki waktu pengadaan yang relatif lama. Apabila material yang dibutuhkan tidak tersedia ketika proses maintenance berlangsung, maka kegiatan pemeliharaan dapat tertunda bahkan menyebabkan kondisi Aircraft on Ground (AOG), yaitu pesawat tidak dapat dioperasikan karena menunggu ketersediaan komponen tertentu [7]. Oleh karena itu, perusahaan Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO) perlu menjaga ketersediaan material kritis agar proses pemeliharaan dapat berjalan sesuai jadwal.

Meskipun penelitian ini tidak melakukan perhitungan safety stock, konsep tersebut tetap menjadi dasar dalam pengelolaan inventory spare parts. Aplikasi yang dikembangkan membantu proses monitoring data inventory, identifikasi material

berdasarkan status prioritas, serta penyajian informasi yang lebih terstruktur sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan terkait pengelolaan persediaan material di PT Garuda Maintenance Facility AeroAsia.

2.4 Pengolahan Data (Data processing)

Pengolahan data (data processing) merupakan proses mengubah data mentah menjadi informasi yang lebih terstruktur dan bermakna sehingga dapat digunakan dalam proses analisis maupun pengambilan keputusan. Menurut Han, Kamber, dan Pei, proses pengolahan data meliputi data cleaning (pembersihan data), data integration (penggabungan data), data transformation (transformasi data ke format yang seragam), serta data reduction (pengurangan kompleksitas data) untuk meningkatkan kualitas data sebelum dilakukan proses analisis [10]. Selain itu, tahap preprocessing merupakan tahapan yang penting karena kualitas data sangat memengaruhi hasil analisis yang dihasilkan.

Dalam bidang industri, khususnya pada sektor Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO), proses pengolahan data memiliki peran penting karena berkaitan dengan pengelolaan berbagai informasi operasional, seperti data spare parts, data teknisi, transaksi penggunaan material, data Goods Receipt (GR), serta laporan operasional yang berasal dari berbagai sistem informasi perusahaan. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses monitoring inventory, penyusunan laporan, serta pengambilan keputusan terkait pengadaan dan penggunaan material [11].

Pengelolaan data yang tidak terorganisasi dengan baik dapat menyebabkan berbagai permasalahan, seperti kesulitan dalam mencari informasi, keterlambatan penyusunan laporan operasional, serta meningkatnya risiko kesalahan dalam proses pengolahan data. Oleh karena itu, diperlukan proses pengolahan data yang mampu mengintegrasikan berbagai sumber data ke dalam satu struktur yang seragam sehingga informasi dapat dikelola secara lebih efektif dan efisien.

Salah satu tahapan penting dalam pengolahan data adalah proses pengurutan (sorting). Proses sorting memungkinkan data disusun berdasarkan atribut tertentu, seperti tanggal Goods Receipt, deskripsi material, maupun part number, sehingga mempermudah proses pencarian data, penyaringan informasi, penyusunan laporan, dan visualisasi data [1]. Dalam penelitian ini, proses sorting diterapkan pada data inventory spare parts menggunakan algoritma TimSort sebagai salah satu fungsi utama pada aplikasi yang dikembangkan.

2.5 Algoritma Sorting

Sorting merupakan proses pengurutan sekumpulan data berdasarkan suatu kriteria tertentu baik dalam urutan menaik (ascending) maupun menurun (descending). Dalam ilmu komputer, proses sorting bertujuan menyusun elemen-elemen data sehingga membentuk urutan yang sistematis dan memudahkan proses pengolahan informasi [1].

Algoritma sorting memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi pengolahan data karena dapat meningkatkan efisiensi proses pencarian (searching), pengelompokan (grouping), penyusunan laporan, serta analisis data. Pada dataset berukuran besar, pemilihan algoritma sorting yang tepat dapat memberikan pengaruh terhadap waktu eksekusi program dan performa sistem secara keseluruhan [1].

Berbagai algoritma sorting telah dikembangkan dengan pendekatan yang berbeda, seperti metode divide and conquer, metode berbasis struktur heap, maupun hybrid algorithm. Setiap algoritma memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari segi kompleksitas waktu (time complexity), penggunaan memori (space complexity), maupun kestabilan proses pengurutan (stability) [1], [12].

Dalam penelitian ini, proses sorting digunakan untuk mengurutkan data inventory spare parts berdasarkan atribut tertentu, seperti Tanggal Goods Receipt (GR), Material Description, dan External Long Material Number. Proses pengurutan tersebut bertujuan menghasilkan data yang lebih terstruktur sehingga memudahkan proses pencarian material, penyaringan data, penyajian informasi pada dashboard, serta penyusunan laporan hasil pengolahan data. Adapun algoritma sorting yang digunakan pada penelitian ini adalah TimSort, yang pembahasannya dijelaskan lebih lanjut pada Subbab 2.7.

2.6 Kompleksitas Algoritma

Kompleksitas algoritma merupakan ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi suatu algoritma dalam menyelesaikan suatu permasalahan. Analisis kompleksitas bertujuan untuk mengetahui besarnya sumber daya yang dibutuhkan suatu algoritma selama proses eksekusi, baik dari segi waktu (time complexity) maupun penggunaan memori (space complexity) [1].

Time complexity menggambarkan jumlah operasi yang diperlukan suatu algoritma untuk menyelesaikan suatu proses berdasarkan ukuran data masukan

(input). Semakin kecil pertumbuhan kompleksitas waktu, maka semakin efisien algoritma tersebut ketika digunakan pada dataset berukuran besar. Sementara itu, space complexity menggambarkan jumlah memori tambahan yang diperlukan selama proses eksekusi algoritma [1].

Dalam analisis algoritma, kompleksitas umumnya dinyatakan menggunakan notasi Big-O (Big O Notation). Notasi ini digunakan untuk menggambarkan batas atas (upper bound) pertumbuhan waktu eksekusi suatu algoritma terhadap pertambahan ukuran data. Semakin kecil nilai kompleksitas yang dimiliki suatu algoritma, maka semakin baik performanya dalam mengolah data berukuran besar [1].

Beberapa bentuk kompleksitas algoritma yang umum digunakan antara lain:

Tabel 2.1. Kompleksitas Algoritma Berdasarkan Notasi Big-O [1]

Notasi Big-O	Keterangan
$O(n)$	Kompleksitas linear, waktu eksekusi bertambah sebanding dengan jumlah data.
$O(n \log n)$	Kompleksitas yang efisien dan umum digunakan pada algoritma <i>sorting</i> untuk dataset berukuran besar.
$O(n^2)$	Kompleksitas kuadratik, waktu eksekusi meningkat secara signifikan ketika jumlah data bertambah sehingga kurang efisien untuk dataset besar.

Sebagian besar algoritma sorting yang efisien, seperti Merge Sort dan TimSort, memiliki kompleksitas rata-rata $O(n \log n)$ sehingga lebih sesuai digunakan untuk pengolahan data berukuran besar dibandingkan algoritma dengan kompleksitas $O(n^2)$. Oleh karena itu, analisis kompleksitas menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan algoritma sorting pada penelitian ini.

2.7 TimSort

TimSort merupakan algoritma sorting bertipe hybrid stable sorting yang menggabungkan konsep Insertion Sort dan Merge Sort. Algoritma ini dikembangkan oleh Tim Peters pada tahun 2002 dan digunakan sebagai algoritma bawaan (default sorting algorithm) pada bahasa pemrograman Python melalui fungsi `sorted()` dan `list.sort()` [2].

TimSort bekerja dengan cara mengidentifikasi bagian-bagian data yang telah terurut, yang disebut sebagai run. Apabila ukuran run masih kecil, proses

pengurutan dilakukan menggunakan Insertion Sort karena lebih efisien untuk data berukuran kecil. Selanjutnya, setiap run digabungkan menggunakan mekanisme Merge Sort hingga seluruh data tersusun secara berurutan. Pendekatan tersebut membuat TimSort mampu bekerja secara adaptif pada data nyata (real-world data), khususnya ketika sebagian data telah berada dalam kondisi terurut [2].

TimSort memiliki beberapa keunggulan dibandingkan algoritma sorting lainnya. Algoritma ini mampu memanfaatkan kondisi data yang telah terurut sebagian (partially sorted), memiliki performa yang baik pada dataset berukuran besar, serta bersifat stable sorting, yaitu mempertahankan urutan relatif elemen-elemen yang memiliki nilai sama setelah proses pengurutan dilakukan. Selain itu, TimSort memiliki kompleksitas waktu $O(n)$ pada kondisi terbaik (best case) dan $O(n \log n)$ pada kondisi rata-rata (average case) maupun kondisi terburuk (worst case), sehingga sesuai digunakan untuk proses pengolahan data dalam jumlah besar [1], [2].

Pada penelitian ini, TimSort digunakan sebagai algoritma utama dalam proses pengurutan data inventory spare parts berdasarkan atribut yang dipilih pengguna, yaitu Tanggal Goods Receipt (GR), Material Description, dan External Long Material Number. Pemilihan TimSort didasarkan pada kemampuannya dalam mengolah dataset berukuran besar secara efisien, menghasilkan proses pengurutan yang stabil, serta telah terintegrasi secara optimal pada bahasa pemrograman Python. Dengan demikian, data inventory dapat disajikan secara lebih terstruktur sehingga memudahkan proses pencarian material, penyaringan data, visualisasi informasi, dan penyusunan laporan pada aplikasi yang dikembangkan.

Tabel 2.2. Karakteristik Algoritma TimSort [1], [2]

Karakteristik	Keterangan
Jenis Algoritma	<i>Hybrid Stable Sorting</i>
Algoritma Penyusun	<i>Insertion Sort</i> dan <i>Merge Sort</i>
<i>Best Case</i>	$O(n)$
<i>Average Case</i>	$O(n \log n)$
<i>Worst Case</i>	$O(n \log n)$
<i>Stable Sorting</i>	Ya
Implementasi	Python (<code>sorted()</code> dan <code>list.sort()</code>)

2.8 Streamlit

Streamlit merupakan framework berbasis Python yang digunakan untuk membangun aplikasi web interaktif secara cepat tanpa memerlukan penguasaan bahasa pemrograman web seperti HTML, CSS, maupun JavaScript. Streamlit menyediakan berbagai komponen antarmuka (user interface) yang memungkinkan pengembang menampilkan data, visualisasi, serta berbagai fitur interaktif hanya dengan menggunakan kode Python [13].

Salah satu keunggulan Streamlit adalah kemampuannya dalam mengintegrasikan proses pengolahan data dengan tampilan antarmuka secara sederhana. Streamlit menyediakan berbagai komponen seperti file uploader, button, text input, selectbox, metric, dataframe, serta dukungan visualisasi menggunakan pustaka seperti Matplotlib dan Plotly. Selain itu, setiap perubahan yang dilakukan pengguna pada aplikasi akan langsung diproses dan ditampilkan kembali (real-time) tanpa memerlukan proses penyegaran (refresh) halaman secara manual [13].

Streamlit banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi analisis data, dashboard, machine learning, serta sistem informasi berbasis data karena proses pengembangannya relatif sederhana dan mudah diintegrasikan dengan berbagai pustaka Python, seperti Pandas, NumPy, Matplotlib, dan OpenPyXL. Kemudahan tersebut menjadikan Streamlit sebagai salah satu framework yang sesuai untuk membangun aplikasi berbasis data dengan waktu pengembangan yang relatif singkat [14].

Pada penelitian ini, Streamlit digunakan sebagai framework utama dalam pengembangan aplikasi manajemen inventory spare parts pesawat. Streamlit digunakan untuk membangun antarmuka aplikasi yang terdiri atas fitur upload data inventory, dashboard, visualisasi distribusi material, identifikasi material prioritas, sorting data menggunakan TimSort, filter berdasarkan product, pencarian material, serta ekspor hasil pengolahan data ke dalam format Microsoft Excel. Dengan menggunakan Streamlit, seluruh proses pengolahan data dapat dilakukan dalam satu aplikasi berbasis web sehingga mempermudah pengguna dalam mengelola data inventory.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai landasan untuk mengetahui perkembangan penelitian yang berkaitan dengan pengelolaan inventory spare parts, pengendalian persediaan, pengolahan data, serta penerapan algoritma sorting. Selain itu, penelitian terdahulu digunakan untuk mengidentifikasi metode yang telah diterapkan dan menemukan keterbatasan penelitian sebelumnya sehingga dapat menentukan kontribusi dari penelitian yang dilakukan.

Tabel 2.3. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1	Wibowo dan Faisal (2024)	<i>Comparative Analysis of Sorting Algorithms</i>	QuickSort, MergeSort, HeapSort, TimSort	Hasil penelitian menunjukkan bahwa TimSort memberikan performa yang baik pada dataset dengan pola keterurutan sebagian dibandingkan beberapa algoritma sorting lainnya.

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
2	Ho et al. (2021)	<i>A Blockchain-based System to Enhance Aircraft Parts Traceability and Trackability for Inventory Management</i>	Blockchain	Sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan traceability dan trackability pada inventory spare parts pesawat sehingga proses pelacakan komponen dapat dilakukan dengan lebih akurat.
3	Furtyfatimah et al. (2023)	<i>Inventory Cost Reduction with Economic Order Quantity for Filter Spare Part in Aircraft Filling Depot</i>	Economic Order Quantity (EOQ)	Penerapan metode EOQ membantu menentukan jumlah persediaan optimal sehingga mampu mengurangi biaya inventory dan meningkatkan efisiensi pengelolaan stok.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
4	van Jaarsveld et al. (2015)	<i>Improving Spare Parts Inventory Control at a Repair Shop</i>	Inventory Control	Pengendalian inventory spare parts yang tepat dapat meningkatkan ketersediaan komponen dan mengurangi risiko keterlambatan proses perbaikan.
5	Ekin (2022)	<i>An Application on Demand Forecasting and Stock Control for Aircraft Components</i>	Forecasting dan Stock Control	Penerapan forecasting dan pengendalian stok membantu perusahaan memperkirakan kebutuhan komponen serta menjaga ketersediaan spare parts pesawat.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada pengelolaan inventory spare parts, pengendalian persediaan, serta optimasi proses penyimpanan material untuk meningkatkan efisiensi operasional. Selain itu, penelitian mengenai algoritma sorting menunjukkan bahwa TimSort memiliki performa yang baik dalam mengolah data berukuran besar maupun data yang telah terurut sebagian sehingga sesuai digunakan dalam proses pengolahan data inventory [15].

Berdasarkan penelitian terdahulu pada Tabel 2.3, dapat diketahui bahwa pengelolaan inventory spare parts pada industri penerbangan membutuhkan sistem yang mampu menyediakan informasi material secara akurat dan terstruktur. Penelitian Ho et al. dengan judul *"A Blockchain- based System to Enhance Aircraft Parts Traceability and Trackability for Inventory Management"* menunjukkan bahwa proses pelacakan komponen merupakan aspek penting dalam inventory spare

parts pesawat karena setiap komponen membutuhkan informasi yang jelas terkait riwayat dan pergerakannya.

Selain itu, penelitian Furtyfatimah et al. (2023), van Jaarsveld et al. (2015), dan Ekin (2022) menunjukkan bahwa pengelolaan inventory tidak hanya berkaitan dengan penyimpanan material, tetapi juga mencakup pengendalian jumlah stok, perencanaan kebutuhan, serta optimasi proses operasional. Dengan penerapan metode pengendalian inventory yang tepat, perusahaan dapat menjaga ketersediaan spare parts dan mengurangi risiko terjadinya kekurangan maupun kelebihan persediaan.

Pada sisi pengolahan data, penelitian Wibowo dan Faisal (2024) dengan judul "*Comparative Analysis of Sorting Algorithms*" menunjukkan bahwa pemilihan algoritma sorting dapat memengaruhi efisiensi proses pengurutan data. TimSort menunjukkan performa yang baik pada data yang telah memiliki sebagian pola keterurutan sehingga berpotensi digunakan pada data dengan karakteristik serupa. Hal tersebut relevan dengan penelitian ini karena data inventory spare parts memiliki jumlah data yang besar dan membutuhkan proses pengurutan agar informasi material dapat ditampilkan secara lebih terstruktur.

Meskipun penelitian sebelumnya telah membahas pengelolaan inventory spare parts dan evaluasi algoritma sorting, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu aspek tertentu. Penelitian terkait inventory lebih banyak membahas optimasi stok, forecasting, dan traceability [16], [17], sedangkan penelitian terkait algoritma sorting berfokus pada perbandingan performa algoritma [18]. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan pengelolaan inventory spare parts pesawat dengan sistem berbasis antarmuka web menggunakan Streamlit yang menyediakan proses preprocessing data, sorting, visualisasi, dan analisis material dalam satu sistem.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini mengembangkan aplikasi manajemen inventory spare parts pesawat berbasis Streamlit dengan menerapkan algoritma TimSort sebagai metode pengurutan data. Sistem yang dikembangkan menyediakan fitur import data, preprocessing, sorting data, pencarian material, filter data, visualisasi inventory, identifikasi material prioritas, serta ekspor laporan. Dengan adanya integrasi tersebut, penelitian ini diharapkan dapat membantu proses pengelolaan inventory spare parts pada PT Garuda Maintenance Facility AeroAsia menjadi lebih terstruktur dan mendukung proses analisis data inventory.