

Analisis *Flight Data Monitoring* dalam Meningkatkan Keselamatan Latih Terbang pada Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi

Yasyfa' Kawakibi*,¹, Dimas Hari Cahyo¹, Hendra Sudarso¹

¹Program Studi Penerbang Sayap Tetap, Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi
Komplek Bandar Udara Banyuwangi, Jl. Pantai Blimbingsari, Krajan, Blimbingsari, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia

*E-mail: ykawakibi@gmail.com

Diterima: 1 April 2025, direvisi: 24 Juli 2025, disetujui: 26 November 2025,
tersedia daring: 22 Desember 2025, diterbitkan: 29 Desember 2025

Abstrak

Keselamatan penerbangan merupakan aspek kritis dalam industri aviasi, di mana *Flight Data Monitoring and Analysis* (FDMA) berperan penting dalam mendukung *Safety Management System* (SMS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi FDMA di Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi untuk mendukung penguatan SMS serta dampaknya terhadap peningkatan keselamatan dan kualitas pelatihan penerbangan. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan analisis data primer dari *flight data logger* Garmin G1000 yang diolah melalui *platform* CloudAhoj dan Flihtadar24, serta data sekunder berupa dokumen regulasi dan kurikulum pelatihan, terhadap sebanyak 865 penerbangan latih dalam periode Februari 2024 hingga Juni 2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FDMA efektif dalam mengidentifikasi anomali penerbangan, dengan nilai rata-rata CFI Score mencapai 89,5 dari 865 penerbangan yang dianalisis. Namun, ditemukan beberapa insiden kritis seperti *engine power loss* dan penyimpangan prosedur, terutama pada *mutual flight*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa FDMA terbukti meningkatkan efektivitas pelatihan berbasis data namun memerlukan peningkatan kapasitas SDM untuk analisis prediktif dan teknologi yang lebih canggih untuk optimalisasi sistem

Kata kunci: *CloudAhoj, flight data monitoring and analysis, keselamatan berbasis data, latih terbang, sistem manajemen keselamatan.*

Abstract

Analysis of Flight Data Monitoring in Enhancing Flight Training Safety at Indonesia Civil Pilot Academy Banyuwangi: *Flight safety is a critical aspect of the aviation industry, with Flight Data Monitoring and Analysis (FDMA) playing a pivotal role in supporting the Safety Management System (SMS). This study aims to analyze the implementation of FDMA at the Indonesia Civil Pilot Academy in Banyuwangi to strengthen SMS and its impact on enhancing flight safety and training quality. A descriptive qualitative approach was employed, utilizing primary data from Garmin G1000 flight data loggers processed through CloudAhoj and Flihtadar24 platforms, alongside secondary data from regulatory documents and training curricula, covering 865 training flights from February 2024 to June 2025. The results indicate that FDMA is effective in identifying flight anomalies, achieving an average CFI Score of 89.5 across the analyzed flights. However, critical incidents such as engine power loss and procedural deviations, particularly during mutual flight sessions, were identified. The study concludes that FDMA significantly enhances data-driven training effectiveness but requires improvements in human resource capacity for predictive analysis and more advanced technology for system optimization.*

Keywords: *CloudAhoj, data-driven safety, flight data monitoring and analysis, flight training, safety management system.*

1. Pendahuluan

Keselamatan penerbangan global terus menjadi sorotan seiring pesatnya pertumbuhan industri aviasi. Salah satu upaya peningkatan tingkat keselamatan di industri aviasi yaitu dengan memaksimalkan *Flight Data Monitoring* (FDM). Data terbaru menunjukkan bahwa *FDM* diproyeksikan tumbuh 9,4% per tahun, mencapai \$9,45 miliar pada 2029 [1], mencerminkan meningkatnya kesadaran akan pentingnya analisis data penerbangan untuk pencegahan kecelakaan. Perkembangan ini didorong oleh maraknya implementasi teknologi *predictive analytics* dan *machine learning* yang mampu mengidentifikasi pola risiko dari *big data* operasional penerbangan [2][3], serta diakselerasi oleh pendekatan *systems engineering* yang menyeluruh dalam analisis data penerbangan, baik untuk pesawat berawak maupun tidak berawak (*unmanned aircraft*) [4]. Regulasi ketat dari ICAO melalui Annex 6 telah mewajibkan penerapan sistem pemantauan data sebagai bagian integral dari *Safety Management System* (SMS) [5]. Sistem pemantauan penerbangan sudah ada hampir di setiap maskapai, berdasarkan studi pada tahun 2021-2022 banyak perusahaan gagal karena pengumpulan data tidak menghasilkan apa-apa tanpa analisis yang tepat, oleh karena itu ancaman terhadap SMS adalah kurangnya investasi dalam analisis data [6]. Namun, seiring berkembangnya integrasi algoritma mesin, yang meningkatkan perilaku penerbangan dan

keselamatan operasional seperti yang divalidasi [7] dengan metode hybrid untuk deteksi anomali [3], membuktikan efektivitas FDM sebagai alat manajemen risiko yang lebih baik. Pemanfaatan data secara efisien dapat menjadi landasan penting untuk mendukung keputusan *safety management*, sejalan dengan tren global menuju keselamatan berbasis data [8].

Perkembangan *flight data monitoring and analysis* (FDMA) sebagai bagian dari SMS mencerminkan pergeseran paradigma dari pendekatan reaktif menuju proaktif dalam manajemen keselamatan penerbangan. FDMA bukan sekadar alat teknis, melainkan komponen kunci dalam membangun budaya keselamatan berbasis data [9]. Secara sederhana, SMS adalah kerangka sistematis untuk mengelola risiko keselamatan, di mana FDMA berfungsi sebagai alat berbasis data untuk mengidentifikasi *hazard* dan perbaikan prosedur. Definisi keselamatan penerbangan terletak pada pengelolaan proaktif untuk meminimalkan *hazard* maupun insiden [10]. Penggunaan FDMA dapat menunjukkan peningkatan kesadaran situasional pilot dan mendukung pelatihan berbasis bukti, sebagaimana diadvokasikan dalam pendekatan *evidence-based flight instruction* [11], namun tantangan dalam integrasi data dan keterbatasan sumber daya di sekolah penerbangan bisa menjadi hambatan utama. Selain itu, penggunaan FDMA juga dapat membantu meringankan beban instruktur pilot dalam mengawasi penerbangan siswa, karena pada dasarnya instruktur pilot lebih banyak menitikberatkan pada aktivitas mental daripada aktivitas fisik [12].

Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi selaku salah satu sekolah penerbangan terkemuka di Indonesia, memiliki potensi besar untuk inovasi dalam pendidikan penerbangan karena memiliki visi menjadi lembaga pendidikan dan pelatihan penerbangan yang unggul dan profesional serta berdaya saing tinggi di wilayah Asia Pasifik [13]. Salah satu inovasi yang telah dilakukan dalam meningkatkan keselamatan penerbangan yaitu dengan adanya FDMA di sekolah penerbangan. Secara tradisional, penelitian keselamatan penerbangan telah dilakukan dengan menganalisis laporan kecelakaan dan insiden, pelatihan penerbang, dan peningkatan prosedur dalam operasi penerbangan [2]. FDMA di sekolah penerbangan muncul sebagai alat untuk mengidentifikasi dan memitigasi potensi bahaya sebelum menyebabkan kecelakaan maupun insiden [14].

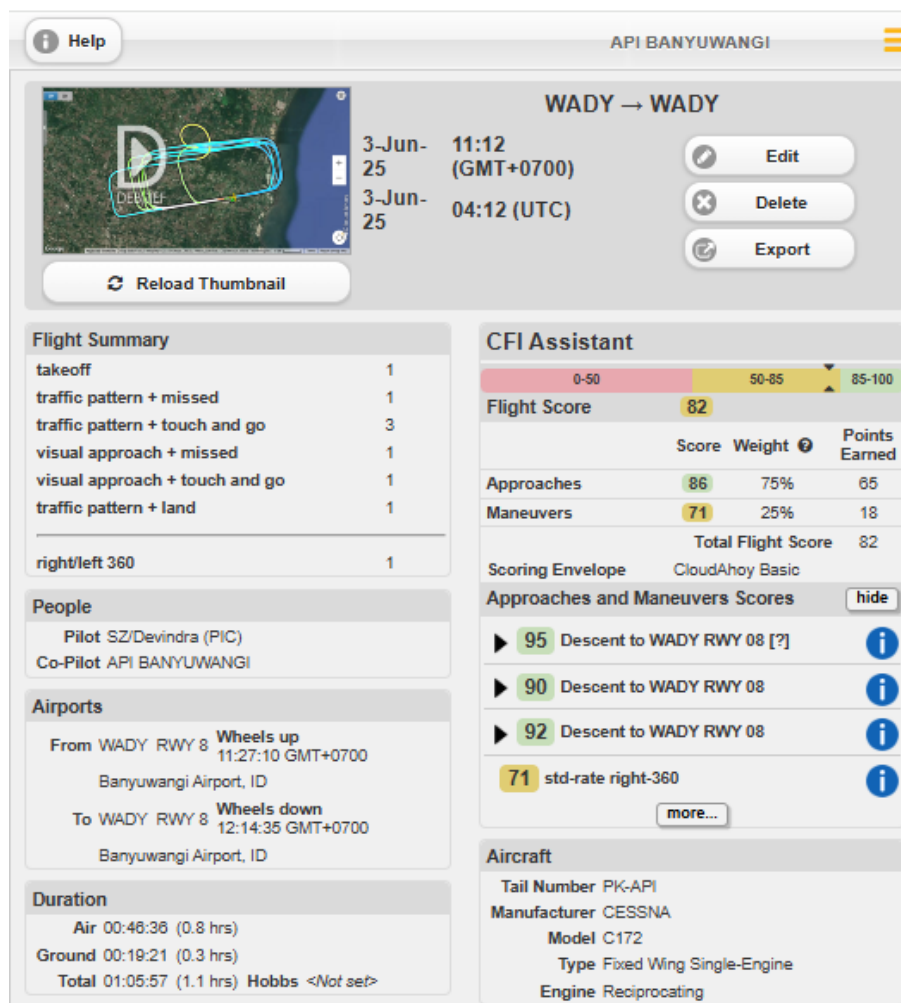
Sebagian besar penelitian FDMA berfokus pada maskapai komersial [7], sementara penerapannya di lingkungan pendidikan penerbangan masih jarang dikaji secara sistematis. Hal ini menciptakan kesenjangan pengetahuan dalam memahami bagaimana FDMA dapat diadaptasi untuk mendukung keselamatan dan efektivitas pelatihan di sekolah penerbangan. Studi kasus di lingkungan pendidikan, seperti yang telah dilakukan [15] di Purdue University, menunjukkan potensi peningkatan keselamatan pelatihan melalui pendekatan berbasis data, namun konteks implementasi di Indonesia masih perlu dieksplorasi. Padahal, sekolah penerbangan memainkan peran penting dalam membentuk budaya keselamatan sejak dini. Pada konteks pendidikan dan pelatihan penerbangan, seperti di Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi, penerapan FDMA memegang peran krusial. Institusi pendidikan penerbangan bertanggung jawab tidak hanya untuk menghasilkan pilot yang kompeten tetapi juga yang memiliki kesadaran tinggi terhadap keselamatan dan kemampuan untuk belajar dari data operasional.

Dengan mengintegrasikan FDMA ke dalam kurikulum dan praktik operasional, API Banyuwangi dapat secara signifikan meningkatkan kualitas pelatihan keselamatan, mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dalam prosedur penerbangan, dan secara proaktif mengelola risiko yang terkait dengan fase pelatihan penerbangan. Berdasarkan latar belakang tersebut, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sejauh mana implementasi FDMA berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan dan kualitas pelatihan penerbangan di API Banyuwangi. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan FDMA dalam mendukung sistem keselamatan berbasis data di lingkungan pendidikan penerbangan. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengkaji peran penting Flight Data Monitoring and Analysis dalam meningkatkan keselamatan penerbangan di API Banyuwangi, menyoroti bagaimana teknologi ini berkontribusi pada budaya keselamatan yang lebih kuat dan praktik operasional yang lebih aman. Kesenjangan (*gap*) pengetahuan ini terletak pada belum adanya model yang jelas mengenai bagaimana FDMA dapat diintegrasikan secara optimal ke dalam SMS, kurikulum pelatihan, dan budaya keselamatan di sekolah penerbangan dengan sumber daya yang terbatas.

Terdapat berbagai macam *platform* perangkat lunak berbasis data yang dirancang untuk menganalisis operasi penerbangan, terkhusus teknologi untuk manajemen data keselamatan dan desain serta

implementasi sistem informasi berbasis ontologi untuk integrasi data keselamatan penerbangan [8]. CloudAhoy digunakan oleh API Banyuwangi sebagai *platform* perangkat lunak utama dalam penerapan FDMA karena teknologi ini dapat memvisualisasikan serta mengintegrasikan data operasional penerbangan dengan sumber *flight data recorder* Garmin G1000 yang berada di seluruh pesawat yang dimiliki API Banyuwangi [16] (Gambar 1). Aplikasi ini dapat membantu menganalisis, menggabungkan, dan mengubah data menjadi informasi yang bermakna dalam operasi penerbangan, sistem manajemen keselamatan, dan pengembangan pendekatan pelatihan penerbangan yang memanfaatkan *database* pelatihan berbasis bukti dari *flight data logger (FDL)* pesawat [17]. CloudAhoy juga dapat menyediakan data *debrief* pasca-penerbangan, termasuk menilai skor penerbangan dan grafik penerbangan sehingga dapat membantu instruktur penerbang maupun siswa untuk melakukan pengembangan diri terutama dalam mendeteksi masalah apapun yang mungkin terjadi selama penerbangan [18].

Selain CloudAhoy, API Banyuwangi juga menggunakan Flightradar24 sebagai *platform* lain dalam mengoptimalkan peran FDMA. Flightradar24 dengan jaringan penerima Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) dapat memberikan pelacakan penerbangan secara *real-time* di mana pesawat secara periodik menyiarkan posisi, kecepatan, ketinggian, dan informasi lainnya melalui transponder [19]. Jaringan Flightradar24 terdiri dari ribuan penerima ADS-B yang tersebar di seluruh dunia, yang dikelola oleh sukarelawan dan penggemar penerbangan. Data dari penerima ini dikumpulkan dan diproses untuk memberikan tampilan peta langsung dari lalu lintas udara global. Flightradar24 juga menyediakan data historis penerbangan, yang memungkinkan pengguna untuk melihat lintasan penerbangan sebelumnya, ketinggian, kecepatan, dan informasi lainnya. Fitur ini sangat berguna di kalangan profesional industri penerbangan [20] khususnya di API Banyuwangi untuk memonitor pesawat yang sedang melaksanakan kegiatan operasional latihan terbang secara *real-time*.



Gambar 1. Tampilan salah satu analisis penerbangan di akun CloudAhoy yang dimiliki API Banyuwangi.

2. Metodologi

Statistik deskriptif (Gambar 2) merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara memaparkan atau menguraikan karakteristik data yang telah dikumpulkan, tanpa menarik inferensi atau generalisasi yang berlaku untuk populasi yang lebih luas [21]. Desain ini dipilih untuk memahami bagaimana data penerbangan dikumpulkan, dianalisis, dan diintegrasikan ke dalam *safety management system* (SMS) serta kurikulum pelatihan [6]. Pendekatan kualitatif deskriptif digunakan untuk menjelaskan efektivitas implementasi FDMA berdasarkan hasil analisis data operasional dan observasi debriefing, sejalan dengan tujuan penelitian untuk menilai kontribusi FDMA terhadap peningkatan keselamatan dan pelatihan. Studi ini bersifat eksploratif karena bertujuan mengungkap pola, tantangan, dan dampak FDMA dalam konteks pendidikan penerbangan, yang masih jarang diteliti dibandingkan dengan penerapannya di maskapai komersial [7].

2.1. Metode Pengumpulan Data

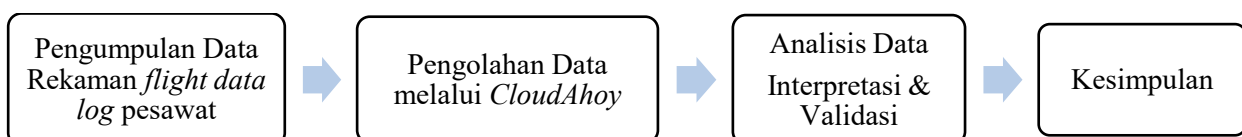
Data primer diperoleh dari laporan FDMA API Banyuwangi mencakup rekaman *flight data logger* dari Garmin G1000 yang terpasang pada armada latih Cessna [16]. Data sekunder meliputi dokumen regulasi ICAO Annex 6 tentang Operasi Pesawat Udara dan Annex 19 tentang Safety Management System. Pedoman Direktorat Jenderal Perhubungan Udara serta standar IATA terkait pelatihan penerbangan juga merupakan salah satu sumber data sekunder yang dikumpulkan [5]. Selain itu, data berupa dokumen *training course outline* maupun *training procedure manual* juga menjadi salah satu dokumen yang dianalisis guna mengintegrasikan antara data operasi terbang dengan kurikulum maupun silabus yang ada di API Banyuwangi. Observasi partisipatif terhadap proses *debriefing* berbasis CloudAhoj juga dilaksanakan untuk mengevaluasi efektivitas visualisasi data [17].

2.2. Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kualitatif deskriptif dengan elemen kuantitatif deskriptif (*descriptive-qualitative with quantitative support*). Data yang dianalisis merupakan data pelatihan penerbangan periode Februari 2024 hingga Juni 2025. Pendekatan ini berfokus pada eksplorasi statistik deskriptif mendalam terhadap implementasi Flight Data Monitoring and Analysis di Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi.

2.3. Analisis Data

Analisis yang diterapkan adalah analisis kualitatif deskriptif. Penelitian ini menganalisis *flight data logger* pesawat yang sudah diolah menggunakan CloudAhoj untuk transformasi menjadi parameter kinerja penerbangan, seperti *rate of climb*, *airspeed deviation*, *go-around incidents*, maupun *abnormal maneuvers* [18]. Platform ini juga mengintegrasikan data dengan algoritma *machine learning* untuk mendeteksi anomali serta memberikan penilaian oleh CFI Assistant [7]. CFI Score yang ada di tiap laporan bulanan FDMA API Banyuwangi dihimpun serta dibandingkan dengan jumlah sampel penerbangan yang ada, kemudian dianalisis faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi CFI Score. CFI Score dibandingkan dengan standar performa pelatihan berbasis bukti (*evidence-based training*) sebagaimana direkomendasikan ICAO dan IATA, guna mengukur efektivitas penerapan FDMA terhadap keselamatan. Alur analisis data mengikuti tahapan: (1) ekstraksi data manual dari *flight data recorder*; (2) konversi dan pemrosesan data menggunakan CloudAhoj; (3) analisis anomali dan perhitungan CFI Score; (4) interpretasi hasil dalam konteks SMS dan kurikulum pelatihan. Teknik berbasis data dengan eksplorasi pola dan anomali yang efisien dan berulang dalam kumpulan data besar ini diharapkan dapat meningkatkan kerangka kerja berbasis data khususnya untuk pertumbuhan keselamatan penerbangan yang tumbuh semakin populer [22].



Gambar 2. Flowchart pengolahan data.

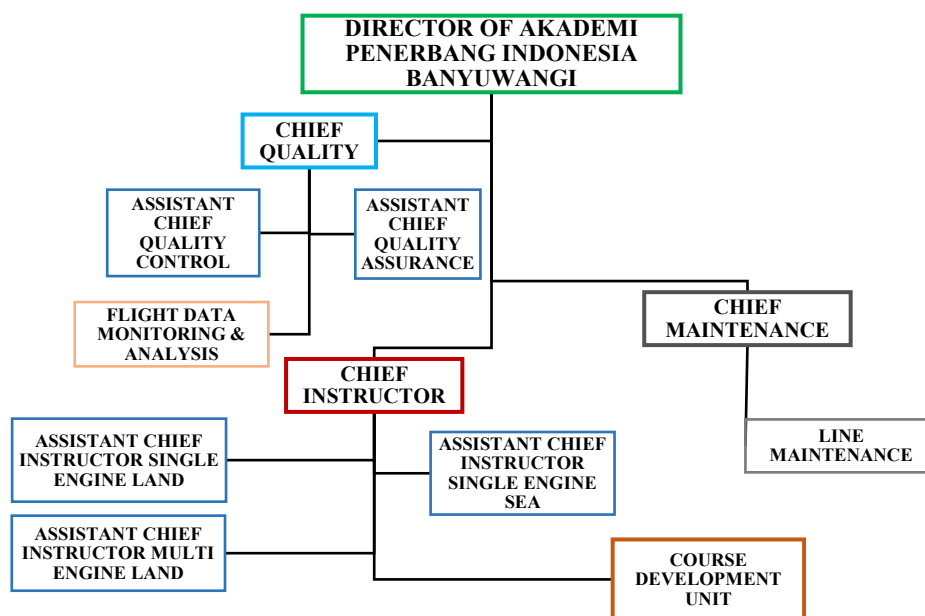
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Peran Flight Data Monitoring and Analysis dalam Safety Management System

Berdasarkan dokumen Training Procedure Manual Issued 04 Due to Revision 15 CASR part 141 Amendment 4 2017 yang dimiliki Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi, dapat diketahui bahwa FDMA merupakan salah satu bagian dari struktur organisasi (Gambar 3) yang bertanggung jawab langsung di bawah Chief Quality, menunjukkan posisi strategis dalam hierarki manajemen keselamatan. Unit FDMA ini memiliki tiga fungsi utama yang saling terkait, yaitu menyusun dan mengawasi jadwal penerbangan untuk instruktur dan siswa pilot, memantau aktivitas penerbangan selama operasi berlangsung secara *real-time*, serta menganalisis data pasca-penerbangan menggunakan aplikasi CloudAho yang terintegrasi dengan *flight data recorder* Garmin G1000. Struktur organisasi seperti ini secara jelas menunjukkan komitmen kuat API Banyuwangi terhadap prinsip *safety management system* (SMS) sebagaimana diamanatkan ICAO dalam Annex 6 tentang Operasi Pesawat Udara dan Annex 19 tentang Safety Management System [5], dengan sistem pemantauan data menjadi komponen kunci dalam manajemen risiko penerbangan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian terbaru [6], yang menekankan bahwa efektivitas SMS di organisasi penerbangan sangat bergantung pada integrasi sistem pemantauan data yang terstruktur dan memiliki alur pelaporan yang jelas kepada manajemen puncak. Namun demikian, implementasi FDMA di lingkungan pendidikan penerbangan ini menunjukkan karakteristik unik jika dibandingkan dengan penerapan di maskapai komersial [7], dengan FDMA di API Banyuwangi tidak hanya berfokus pada aspek keselamatan operasional tetapi juga berperan aktif dalam administrasi pelatihan dan pengelolaan catatan siswa. Hal ini sesuai dengan temuan tentang pentingnya adaptasi sistem pemantauan data sesuai dengan konteks operasional khusus di lingkungan pendidikan penerbangan [17][15], dengan kebutuhan akan pendekatan holistik dalam pengawasan kegiatan latihan terbang menjadi lebih dominan.

Penggunaan CloudAho sebagai *platform* utama dalam analisis data di API Banyuwangi, seperti dijelaskan dalam penelitian [16], memungkinkan transformasi data teknis dari Garmin G1000 menjadi parameter kinerja yang lebih bermakna dan mudah dipahami oleh berbagai pemangku kepentingan, mulai dari instruktur penerbang hingga manajemen sekolah. Platform ini tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga menjadi media pembelajaran berbasis data yang sangat berharga dalam proses pendidikan calon pilot, sekaligus memenuhi rekomendasi ICAO tentang pentingnya budaya keselamatan berbasis data dalam industri penerbangan modern [5].



Gambar 3. Bagan struktur organisasi sekolah penerbang Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi yang bersumber dari *Training Procedure Manual Chapter 3: Organization Structure*.

3.2. Prosedur Analisis Data Penerbangan

Proses analisis data penerbangan di API Banyuwangi mengikuti alur kerja yang sistematis dan terstandarisasi, dimulai dari ekstraksi manual data mentah dari *flight data recorder* Garmin G1000 yang dilakukan oleh teknisi setiap dua minggu sekali, khusus untuk data dari pesawat yang digunakan dalam *mutual flight* dan *solo flight* sesuai dengan ketentuan operasional sekolah. Data mentah tersebut kemudian melalui proses pencadangan dan ekstraksi sebelum akhirnya dikonversi menjadi format yang dapat dianalisis menggunakan aplikasi CloudAhoy.

Metode analisis seperti ini, meskipun terbukti efektif dalam menghasilkan CFI Score sebagai indikator kinerja penerbangan [18], masih memiliki beberapa keterbatasan signifikan terutama dalam hal frekuensi analisis yang hanya dilakukan dua minggu sekali dan ketergantungan pada proses manual yang rentan terhadap *human error*. Temuan ini mendukung argumen tentang pentingnya otomatisasi dalam pengolahan *big data* penerbangan di era modern, dengan volume dan kompleksitas data yang harus dianalisis semakin meningkat pesat seiring dengan perkembangan teknologi avionik modern [7][3]. Studi lain juga menunjukkan bahwa *predictive analytics* dapat secara signifikan meningkatkan frekuensi dan kedalaman analisis dibandingkan dengan metode manual [23]. Dalam konteks pendidikan penerbangan, tantangan ini menjadi semakin relevan mengingat pentingnya umpan balik yang cepat dan akurat untuk proses pembelajaran siswa pilot [15].

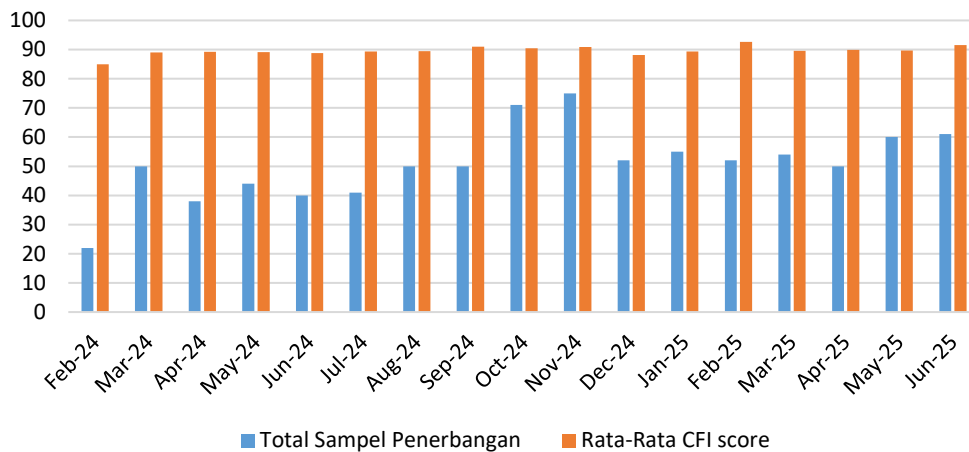
Penggunaan CloudAhoy untuk visualisasi data penerbangan, sebagaimana dijelaskan secara rinci dalam penelitian [18], terbukti sangat efektif dalam mengidentifikasi berbagai anomali operasional seperti *rate of climb* yang tidak normal, *airspeed deviation* yang melebihi batas toleransi, atau manuver-manuver lain yang menyimpang dari prosedur standar. Kemampuan *platform* ini dalam menyajikan data dalam bentuk grafis dan numerik yang mudah dipahami telah membantu instruktur dan manajemen sekolah dalam melakukan evaluasi menyeluruh terhadap setiap penerbangan latihan. Namun demikian, keterbatasan sumber daya manusia yang terlibat dalam proses analisis ini, khususnya dalam hal keahlian teknis dan jumlah personel yang tersedia, sebagaimana diungkapkan dalam penelitian [17], menjadi tantangan utama yang menghambat pencapaian analisis yang lebih komprehensif dan mendalam terhadap seluruh aspek operasional penerbangan latihan.

3.3. Temuan Kuantitatif dan Kualitatif dari Data FDMA

Berdasarkan hasil observasi dokumen yang ada, API Banyuwangi memulai secara intensif menganalisis data operasi penerbangan latihan sejak bulan Februari tahun 2024. Analisis menyeluruh terhadap 865 penerbangan latihan yang tercatat dalam periode Februari 2024 hingga Juni 2025 di API Banyuwangi (Gambar 4) menunjukkan performa rata-rata yang cukup baik dengan kalkulasi penilaian CloudAhoy dalam bentuk CFI Score mencapai 89,5. Sebuah indikator kuantitatif yang sesuai dengan standar pelatihan berbasis bukti (*evidence-based training*) sebagaimana direkomendasikan dalam penelitian tentang pentingnya penggunaan Safety Performance Indicators dalam pendidikan penerbangan [17]. Nilai ini mencerminkan konsistensi kualitas pelatihan yang diberikan oleh API Banyuwangi, sekaligus menunjukkan efektivitas penerapan sistem pemantauan data dalam menjaga standar operasional.

Analisis tren CFI Score dari waktu ke waktu menunjukkan stabilitas performa dengan sedikit fluktuasi, yang mengindikasikan konsistensi penerapan standar operasional. Temuan menunjukkan bahwa peningkatan nilai CFI Score berkorelasi dengan berkurangnya jumlah insiden *procedural deviation*, yang mengindikasikan bahwa implementasi FDMA berkontribusi terhadap peningkatan *situational awareness* siswa pilot.

Pola insiden yang muncul dari analisis data juga menunjukkan karakteristik unik dengan penerbangan *mutual flight* (penerbangan dengan dua siswa pilot sebagai awak cenderung lebih rentan terhadap penyimpangan prosedur dibandingkan dengan penerbangan solo. Temuan ini memberikan dukungan empiris terhadap teori tentang *engineering psychology and human performance* [9], yang menyatakan bahwa interaksi dinamis antara *crew* dalam kokpit dapat menciptakan kompleksitas tambahan yang perlu dikelola melalui pelatihan *crew resource management* yang efektif. Data historis dari Flightradar24 [19][20] yang digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini juga menunjukkan bahwa pola insiden



Gambar 4. Diagram seluruh laporan FDMA Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi bulan Februari 2024 – Juni 2025.

di lingkungan pendidikan penerbangan memiliki karakteristik yang cukup berbeda dengan operasi komersial, terutama dalam hal jenis dan frekuensi penyimpangan yang terjadi, sehingga memerlukan pendekatan khusus dalam penanganannya.

Hasil penelitian di API Banyuwangi ini sejalan dengan temuan [15] di Purdue University, yang juga mengonfirmasi efektivitas pendekatan berbasis data dalam meningkatkan keselamatan pelatihan penerbangan. Namun, studi ini mengungkap konteks unik di Indonesia, dengan tantangan sumber daya dan infrastruktur memerlukan adaptasi model implementasi FDMA yang berbeda dari lingkungan pendidikan penerbangan di negara maju.

Implikasi temuan ini terhadap manajemen SMS dan pelatihan adalah perlunya pengembangan modul Crew Resource Management (CRM) yang lebih spesifik untuk *mutual flight*, serta integrasi hasil analisis FDMA ke dalam proses *recurrent training* bagi instruktur. Hal ini akan memperkuat siklus umpan balik dalam SMS dan memastikan bahwa temuan data diterjemahkan secara efektif ke dalam peningkatan kurikulum dan prosedur operasional.

3.4. Analisis Data FDMA dalam Mengidentifikasi dan Memitigasi Potensi Insiden

Analisis mendalam terhadap 865 data penerbangan tidak hanya menunjukkan performa rata-rata (CFI Score 89,5), tetapi juga berhasil mengungkap korelasi antara parameter FDMA dengan kejadian nyata yang berpotensi menjadi insiden serius. Beberapa temuan kritis adalah:

3.4.1. Engine Power Loss

Pada satu kasus *mutual flight* data FDMA menunjukkan penurunan tajam parameter RPM dan Manifold Absolute Pressure (MAP) yang tidak diikuti dengan prosedur darurat yang tepat waktu oleh siswa. Analisis lintasan menunjukkan keterlambatan dalam identifikasi lapangan darurat. Data ini menjadi bahan kritis dalam *debriefing* untuk memperkuat pelatihan penanganan kegagalan mesin.

3.4.2. Penyimpangan Prosedur dan Pelanggaran Ruang Udara

Data CloudAhoy dan Flightradar24 secara konsisten mengidentifikasi pola penyimpangan dari batas *training area* pada beberapa penerbangan solo. Visualisasi lintasan yang menyimpang ini menjadi bukti objektif untuk pelatihan ulang mengenai pentingnya *situational awareness* dan disiplin ruang udara.

3.4.3. Anomali Pendaratan (*Hard Landing & Tailstrike Risk*)

Parameter *vertical speed* dan *pitch angle* yang terekam pada fase *flare* dan *touchdown* beberapa penerbangan menunjukkan nilai di luar batas aman. Analisis ini mengarah pada ditemukannya pola kesalahan teknik pendaratan pada siswa tertentu, yang kemudian menjadi fokus pelatihan khusus instruktur.

Temuan ini membuktikan bahwa FDMA berperan sebagai *early warning system*. Anomali yang terdeteksi secara data, seperti *rate of climb* tidak normal atau ketidakstabilan *approach*, seringkali

merupakan *precursors* (indikator awal) dari insiden yang lebih besar. Implementasi FDMA memungkinkan intervensi pelatihan yang proaktif dan spesifik, sehingga memutus mata rantai potensi kecelakaan.

3.5. Tantangan Implementasi FDMA di Lingkungan Pendidikan

Implementasi sistem Flight Data Monitoring and Analysis di lingkungan pendidikan penerbangan seperti API Banyuwangi menghadapi berbagai tantangan yang cukup berbeda dibandingkan dengan penerapannya di maskapai komersial. Tantangan utama yang teridentifikasi meliputi keterbatasan sumber daya manusia dengan keahlian khusus di bidang analisis data penerbangan, serta keterbatasan infrastruktur teknologi untuk melakukan analisis data yang lebih mendalam dan komprehensif. Temuan ini sangat kontras dengan implementasi FDMA di maskapai komersial yang telah banyak mengadopsi *hybrid machine learning-statistical method* untuk analisis data penerbangan, sebagaimana dijelaskan secara rinci dalam penelitian tentang penerapan teknik canggih dalam analisis *anomaly detection* [7][3].

Keterbatasan dalam sistem *anomaly detection* di API Banyuwangi ini secara jelas mendukung argumen dalam studi sistematis tentang penerapan *artificial intelligence* dalam keselamatan penerbangan [2][3], yang menyatakan bahwa integrasi teknologi AI dan *machine learning* dapat memberikan nilai tambah signifikan dalam identifikasi risiko potensial dari data penerbangan. Studi komparatif dengan berbagai penelitian sebelumnya [7][9] menunjukkan dengan jelas bahwa lingkungan pendidikan penerbangan memerlukan pendekatan khusus dalam implementasi FDMA, yang mempertimbangkan keterbatasan sumber daya namun tetap memenuhi prinsip-prinsip dasar *safety management system*. Berbagai rekomendasi dari penelitian [7] tentang penggunaan *predictive analytics* dalam analisis data penerbangan perlu diadaptasi secara kreatif dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya yang ada di lingkungan pendidikan, sambil tetap menjaga efektivitas sistem dalam mencapai tujuannya.

Temuan dalam penelitian ini juga secara kuat memperkuat argumen ICAO [5] yang tertuang dalam *safety management manual* (SMM) Doc 9859, tentang pentingnya pengembangan kapasitas dan alokasi sumber daya yang memadai dalam penerapan SMS di lembaga pelatihan penerbangan. Di beberapa aspek dunia penerbangan seperti di bandar udara sudah banyak masuk ke tahap operasi sistem manajemen keselamatan, walaupun masih terdapat kendala dalam hal sumber daya manusia [24]. Tantangan implementasi FDMA di API Banyuwangi ini mencerminkan fenomena yang lebih luas di berbagai sekolah penerbangan, dengan kebutuhan akan sistem pemantauan yang efektif seringkali berbenturan dengan keterbatasan anggaran dan sumber daya manusia yang tersedia. Namun demikian, pengalaman API Banyuwangi dalam mengintegrasikan FDMA ke dalam kurikulum pelatihan dan operasional sehari-hari memberikan contoh nyata tentang bagaimana lembaga pendidikan penerbangan dapat memulai langkah strategis menuju budaya keselamatan berbasis data, meskipun dengan sumber daya yang terbatas. Dengan beberapa kendala yang muncul, tentunya tetap dibutuhkan bentuk penanganan di antaranya dengan melakukan evaluasi sehingga sistem manajemen keselamatan, khususnya dengan implementasi FDMA ini dapat mencapai tingkatan efektivitas yang diinginkan [24].

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap implementasi FDMA di API Banyuwangi, dapat disimpulkan bahwa: Pertama, implementasi FDMA melalui platform CloudAhoj dan Flightradar24 telah membentuk prosedur yang sistematis dalam mendukung SMS, mulai dari pemantauan secara real-time, analisis anomali pasca-penerbangan, hingga integrasi hasilnya ke dalam proses debriefing dan evaluasi kurikulum. Kedua, FDMA terbukti efektif mengidentifikasi anomali kritis yang berpotensi menjadi insiden, seperti engine power loss, penyimpangan dari training area, dan teknik pendaratan yang berisiko. Data menunjukkan bahwa mutual flight lebih rentan terhadap penyimpangan prosedur, yang mengindikasikan perlunya pelatihan Crew Resource Management (CRM) yang lebih intensif. Ketiga, tantangan utama optimalisasi terletak pada sumber daya manusia untuk analisis prediktif, frekuensi analisis yang masih bergantung pada proses manual, dan keterbatasan teknologi deteksi anomali berbasis machine learning. Namun, efektivitas FDMA dalam meningkatkan objektivitas dan efisiensi pelatihan telah terbukti, ditunjukkan dengan peran kunci data dalam debriefing dan peningkatan situational awareness siswa. Untuk pengembangan selanjutnya, rekomendasi yang diberikan adalah: (1) Peningkatan

kapasitas SDM melalui pelatihan khusus analisis data penerbangan; (2) Eksplorasi teknologi predictive analytics yang terjangkau untuk deteksi anomali yang lebih proaktif; dan (3) Penguatan integrasi temuan FDMA ke dalam modul pelatihan spesifik, terutama untuk menangani pola insiden yang teridentifikasi seperti pada mutual flight. Dengan demikian, penelitian ini memberikan bukti empiris dan model penerapan FDMA yang dapat diadaptasi oleh sekolah penerbangan lain untuk meningkatkan keselamatan dan kualitas pelatihan secara berbasis data.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi yang telah memberikan dukungan teknis maupun nonteknis melalui Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi pada program hibah penelitian tahun anggaran 2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh rekan di Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi atas dukungan materi dan non-materi sehingga kajian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] researchandmarkets.com, "Flight Data Monitoring Market Report 2025," Mar. 2025.
- [2] G. Demir, S. Moslem, and S. Duleba, "Artificial Intelligence in Aviation Safety: Systematic Review and Biometric Analysis," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 17, no. 1, p. 279, 2024, doi: 10.1007/s44196-024-00671-w.
- [3] S. Kim, D. Cho, S. Lee, J. Kim, T. Choi, and S. Lee, "SW Program Development of a Real-Time Flight Data Acquisition and Analysis System for EO/IR Pod," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 15, no. 6, pp. 42–49, 2021.
- [4] M. Sadraey, "A systems engineering approach to unmanned aerial vehicle design," in *10th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference*, 2010, p. 9302.
- [5] ICAO., *Safety Management Manual (SMM) Doc 9859: Icao Annex 19*. ICAO, 2013.
- [6] A. J. Stolzer, R. L. Sumwalt, and J. J. Goglia, *Safety management systems in aviation*. CRC Press, 2023.
- [7] S. K. Jasra, G. Valentino, A. Muscat, and R. Camilleri, "Hybrid Machine Learning–Statistical Method for Anomaly Detection in Flight Data," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 20, p. 10261, 2022, doi: 10.3390/app122010261.
- [8] M. Ledvinka, A. Lališ, and P. Křemen, "Toward data-driven safety: an ontology-based information system," *Journal of Aerospace Information Systems*, vol. 16, no. 1, pp. 22–36, 2019.
- [9] C. D. Wickens, W. S. Helton, J. G. Hollands, and S. Banbury, *Engineering psychology and human performance*. Routledge, 2021.
- [10] B. Gao, G. Hu, and J. W. Chapman, "Effects of Nocturnal Celestial Illumination on High-Flying Migrant Insects," *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, vol. 379, no. 1904, 2024, doi: 10.1098/rstb.2023.0115.
- [11] I. Buselli, L. Oneto, C. Dambra, C. V. Gallego, and M. G. Martinez, "Data-driven methods for aviation safety: from data to knowledge," in *International Conference on System-Integrated Intelligence*, Springer, 2022, pp. 126–136.
- [12] A. D. Saputra, S. Priyanto, I. Muthohar, and M. Bhinnety, "Analisis beban kerja mental pilot dalam pelaksanaan operasional penerbangan dengan menggunakan metode Subjective Workload Assessment Technique (SWAT)," *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 27, no. 3, pp. 181–194, 2015.
- [13] D. H. Cahyo, D. D. Rumani, and Y. Apristia, "Analisis Komponen Pokok Manajemen Strategik Pada Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi," *SKYHAWK: Jurnal Aviasi Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 202–211, 2023.
- [14] T. Lu, Y. Li, C. Zhou, M. Tang, and X. You, "The influence of emotion induced by accidents and incidents on pilots' situation awareness," *Behavioral Sciences*, vol. 13, no. 3, p. 231, 2023.
- [15] M. C. Chow et al., "Data-Driven Improvement of Flight Training Safety at Purdue University," in *20th International Symposium on Aviation Psychology*, 2019, p. 456.
- [16] M. N. C. H. Nasrullah, G. Rubiono, S. D. Sulung, and H. Prayitno, "Penggunaan Flight Data Logger untuk Menganalisis Dampak Modifikasi Seaplane pada Kinerja Take Off Cessna PK-APH: Studi Komparasi," *TEKNIK*, vol. 45, no. 1, pp. 101–110.
- [17] B. Dillman, D. Ziakkas, and J. Cutter, "Selection and implementation of Evidence based Safety Performance Indicators in Aviation Training," *Safety Management and Human Factors*, vol. 64, no. 64, 2022.
- [18] K. Karboviak et al., "Classifying aircraft approach type in the national general aviation flight information database," in *International Conference on Computational Science*, Springer, 2018, pp. 456–469.
- [19] Y. Bakara, T. A. M. Sinaga, A. A. Febianti, R. Sadiatmi, M. F. Muzaki, and D. Wagini, "Rancangan VFR Route di Perum LPPNPI Cabang Pembantu Pangkalan Bun," *CENDEKIA: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, vol. 5, no. 1, pp. 20–26, 2025.
- [20] L. Yarlina, H. Y. L. Batu, E. Lindasari, and A. Mardoko, "Evaluasi Pelayanan Ground Handling di Bandar Udara Mutiara SIS Al-Jufri Palu," *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 32, no. 1, pp. 33–42, 2020.
- [21] P. P. Kuantitatif, "Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D," *Alfabeta, Bandung*, 2016.
- [22] R. L. Rose, T. G. Puranik, and D. N. Mavris, "Natural language processing based method for clustering and analysis of aviation safety narratives," *Aerospace*, vol. 7, no. 10, p. 143, 2020.
- [23] I. Kabashkin, R. Fedorov, and V. Perekrestov, "Decision-making framework for aviation safety in predictive maintenance strategies," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 3, p. 1626, 2025.
- [24] C. A. Putri and A. Fakhrudin, "Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan (Safety Management System) Terhadap Sumber Daya Manusia Unit Safety Management System di Bandar Udara Sultan Muhammad Kaharudin," *Jurnal Multidisiplin Madani (MUDIMA)*, vol. 2, no. 9, 2022.