



Analisis Pemeliharaan Pesawat Pasca Insiden Bird Strike pada Engine #1

Yogi Prisma Caysar Pradewa¹, Aziz Faudzan Alam²

Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia-Curug^{1,2}

E-mail : yogiprisma9@gmail.com, aziz12fauzan01@gmail.com

Alamat: Komplek Bandara Budiarto, Curug-Tangerang Banten 15001. PO. BOX 509 Tangerang Indonesia

Korespondensi penulis : yogiprisma9@gmail.com

Abstract. This study aims to analyze the aircraft maintenance procedures following a bird strike incident on Engine #1, focusing on incident identification, maintenance actions taken, damage evaluation, follow-up recommendations, and compliance with aviation industry standards. Data for the study were obtained through official technical documentation such as the Technical Standard Manual (TSM) and Aircraft Maintenance Manual (AMM). Data analysis was conducted using the Miles & Huberman method, which includes stages of data collection, data reduction, data presentation, and conclusion drawing. Data validity was ensured through source triangulation, relying on various related documents to strengthen the findings. The results showed that the maintenance procedures applied were in accordance with international standards. Post-incident maintenance was carried out systematically and well-documented, with no procedural violations or technical neglect. The damage evaluation of Engine #1 revealed that the corrective actions implemented were effective, ensuring the aircraft's safe return to service. Recommendations for further maintenance include enhancing supervision of existing procedures. Overall, the post-incident maintenance met best practices in the civil aviation industry, ensuring aircraft safety and reliability.

Keywords : Aircraft maintenance, bird strike, Engine #1, maintenance procedures, aviation industry standards, data analysis, triangulation.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur pemeliharaan pesawat pasca-insiden bird strike pada Engine #1, dengan fokus pada identifikasi insiden, tindakan pemeliharaan yang diambil, evaluasi kerusakan, rekomendasi lanjutan, dan kesesuaian prosedur dengan standar industri penerbangan. Data penelitian diperoleh melalui dokumentasi teknis resmi seperti TSM (Technical Standard Manual) dan AMM (Aircraft Maintenance Manual). Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode Miles & Huberman, yang meliputi tahap pengumpulan data, reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Keabsahan data dijamin melalui triangulasi sumber, dengan mengandalkan berbagai dokumen terkait yang memperkuat temuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prosedur pemeliharaan yang diterapkan telah sesuai dengan standar internasional. Pemeliharaan pasca-insiden dilakukan secara sistematis dan terdokumentasi dengan baik, tanpa pelanggaran prosedur atau kelalaian teknis. Evaluasi kerusakan pada Engine #1 menunjukkan bahwa langkah korektif yang diterapkan efektif, memastikan pesawat kembali siap operasi dengan aman. Rekomendasi untuk pemeliharaan lanjutan termasuk peningkatan pengawasan terhadap prosedur yang ada. Secara keseluruhan, pemeliharaan pasca-insiden telah memenuhi best practice dalam industri penerbangan sipil, memastikan keselamatan dan keandalan pesawat.

Kata Kunci: Pemeliharaan pesawat, bird strike, Engine #1, prosedur pemeliharaan, standar industri penerbangan, analisis data, triangulasi.

1. LATAR BELAKANG

Industri penerbangan modern sangat mengandalkan keandalan dan keselamatan operasional pesawat, terutama pada sistem propulsi seperti mesin (engine) yang menjadi komponen vital dalam mendukung kinerja pesawat (Indriani et al., 2019). Salah satu ancaman signifikan terhadap keselamatan ini adalah insiden bird strike, yaitu peristiwa tabrakan antara burung dan pesawat udara, yang umumnya terjadi saat fase kritis penerbangan seperti lepas landas dan pendaratan (Setiawan et al., 2020). Data dari International Civil Aviation

Organization (ICAO) dan Federal Aviation Administration (FAA) menunjukkan bahwa insiden bird strike mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, seiring dengan pertumbuhan lalu lintas udara global dan meningkatnya populasi burung di sekitar area bandara (Taaqbier et al., 2021). Walaupun sebagian besar bird strike tidak menimbulkan kerusakan yang fatal, namun dampak serius tetap dapat terjadi, terutama jika burung tersedot masuk ke dalam engine pesawat, yang bisa menyebabkan kerusakan struktural, penurunan daya dorong, bahkan kegagalan mesin total (engine failure) (Wahyudi et a., 2019; WP & Widagdo, 2024).

Menurut laporan dari Aircraft Owners and Pilots Association, dalam 20 tahun terakhir telah tercatat lebih dari 112.000 laporan resmi terkait bird strike dan tabrakan dengan satwa liar. Namun, para ahli meyakini bahwa angka sebenarnya bisa jauh lebih tinggi, karena diperkirakan sekitar 80% insiden tidak dilaporkan. Dengan asumsi tersebut, kemungkinan telah terjadi lebih dari 500.000 insiden bird strike dalam dua dekade terakhir. Dari jumlah tersebut, tercatat lebih dari 350 korban jiwa, serta kerugian ekonomi yang signifikan, yaitu sekitar \$330 juta per tahun. Kerugian ini mencakup kerusakan pesawat, penundaan operasional, serta downtime hingga 500.000 jam penerbangan setiap tahunnya (Setiawan et a., 2021; Aldi, 2024; Jadid, 2019).

Peningkatan jumlah bird strike sangat erat kaitannya dengan meningkatnya populasi burung, terutama di wilayah yang dilalui jalur penerbangan. Misalnya, populasi angsa Kanada di Amerika Serikat telah meningkat tiga kali lipat dalam 10 tahun terakhir, mencapai lebih dari 5 juta ekor, dengan berat rata-rata 12 pon per ekor. Burung-burung ini kerap bermigrasi secara berkelompok melintasi wilayah udara yang sibuk, meningkatkan potensi tabrakan dengan pesawat. Selain itu, setiap tahun terdapat sekitar 500 juta hingga 1 miliar burung yang bermigrasi melintasi Amerika Serikat, terutama pada musim migrasi antara Juli hingga November, yang menambah risiko secara signifikan. Umumnya, burung terbang di ketinggian hingga 7.000 kaki, namun beberapa kasus bird strike telah dilaporkan terjadi di ketinggian yang jauh lebih tinggi, bahkan hingga 37.000 kaki, menunjukkan bahwa risiko ini tidak terbatas hanya pada fase rendah penerbangan (Lopulalan, 2024).

Dengan latar belakang tersebut, jelas bahwa bird strike merupakan fenomena yang memberikan ancaman nyata dalam dunia penerbangan, meskipun kerap dianggap sepele. Dampaknya bisa bervariasi, mulai dari kerusakan ringan pada permukaan pesawat hingga kondisi darurat yang mengancam keselamatan penumpang dan awak pesawat. Maka dari itu, penting bagi industri penerbangan untuk terus meningkatkan kesadaran, sistem deteksi dini, serta prosedur pemeliharaan dan evaluasi pasca insiden bird strike, khususnya pada komponen mesin seperti engine #1 yang sering menjadi titik dampak utama. Penelitian ini menjadi relevan

untuk menganalisis secara mendalam langkah pemeliharaan yang tepat pasca insiden bird strike, guna memastikan keselamatan dan kelayakan operasional pesawat tetap terjaga secara optimal.

Engine #1 pada pesawat, yang biasanya terletak di sisi kiri badan pesawat, memiliki kerentanan yang tinggi terhadap bird strike karena sering kali menjadi titik kontak pertama ketika pesawat bergerak maju (Setiowulandari et al., 2022). Setelah terjadi insiden bird strike, diperlukan serangkaian prosedur inspeksi dan pemeliharaan (maintenance) yang ketat guna memastikan bahwa engine tetap dalam kondisi layak terbang (airworthy). Proses ini mencakup evaluasi terhadap fan blade, kompresor, saluran udara, serta sistem kontrol mesin lainnya. Kegagalan dalam melakukan pemeliharaan yang tepat dapat berisiko tinggi terhadap keselamatan penerbangan selanjutnya (Sadono et al., 2021; Nopelandi et al., 2023).

Mengingat pentingnya proses penanganan pasca bird strike, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur pemeliharaan pesawat pasca insiden bird strike khususnya pada engine #1, termasuk tahapan inspeksi, perbaikan, penggantian komponen, serta waktu henti operasional pesawat (downtime) yang terjadi. Penelitian ini juga akan meninjau apakah prosedur pemeliharaan yang diterapkan sudah sesuai dengan standar dari manufacturer (OEM) dan regulator seperti FAA atau EASA. Dengan memahami secara sistematis proses pemeliharaan ini, diharapkan dapat memberikan masukan untuk perbaikan prosedur teknis, efisiensi waktu, dan peningkatan keselamatan penerbangan.

2. KAJIAN TEORITIS

Bird Strike

Bird strike merupakan istilah dalam dunia penerbangan yang merujuk pada tabrakan antara burung dengan pesawat udara. Peristiwa ini biasanya terjadi selama fase lepas landas (take-off), pendakian (climb), pendekatan (approach), atau pendaratan (landing), saat pesawat berada di ketinggian rendah di mana burung-burung lebih banyak ditemukan. Secara teoritis, bird strike dikategorikan sebagai salah satu bentuk hazard atau potensi bahaya dalam sistem keselamatan penerbangan (aviation safety) yang bersifat alami namun berdampak signifikan terhadap operasional dan keselamatan pesawat. Menurut teori Risk Management dalam Aviation Safety (Stolzer, Halford, & Goglia, 2011), risiko dalam penerbangan berasal dari berbagai sumber, baik teknis, manusia, maupun lingkungan. Bird strike termasuk dalam risiko lingkungan (environmental hazard) yang memerlukan pendekatan sistemik dalam mitigasi, termasuk pengelolaan habitat sekitar bandara, penggunaan teknologi pencegah, serta prosedur pemeriksaan dan pemeliharaan pesawat secara berkala (Sofansyah et al., 2025).

Secara fisiologis, tabrakan dengan burung dapat menyebabkan berbagai jenis kerusakan, mulai dari kerusakan ringan pada struktur pesawat (misalnya windshield, nose cone, leading edge), hingga kerusakan parah pada komponen kritis seperti engine. Dalam banyak kasus, burung yang tersedot ke dalam mesin dapat menyebabkan stall, kerusakan bilah turbin, gangguan aliran udara, bahkan kebakaran, yang berujung pada situasi darurat seperti engine failure. Studi oleh Dolbeer dalam Mora et al., (2021) menyebutkan bahwa ukuran dan massa burung, jumlah individu dalam satu kawanan, serta kecepatan pesawat saat tabrakan sangat menentukan tingkat kerusakan yang terjadi. Semakin besar dan berat burung, serta semakin tinggi kecepatan pesawat saat benturan, maka energi kinetik yang dihasilkan akan lebih besar dan menyebabkan kerusakan yang lebih serius.

Di sisi lain, International Civil Aviation Organization (ICAO) dan Federal Aviation Administration (FAA) telah menetapkan prosedur pelaporan dan penanganan bird strike sebagai bagian dari Safety Management System (SMS). Prosedur ini meliputi: pelaporan insiden, investigasi dampak, evaluasi kerusakan, dan tindakan korektif terhadap sistem atau komponen yang terdampak, terutama mesin (engine). Dalam konteks pemeliharaan pasca insiden, teori Maintenance Engineering (Nowlan & Heap, 1978) dikutip dari Choi & Kim, (2017) menekankan pentingnya Corrective Maintenance dan Predictive Maintenance untuk mendekripsi, memperbaiki, dan mencegah kerusakan lanjutan setelah insiden bird strike. Pemeriksaan mendalam terhadap engine, termasuk non-destructive testing (NDT), vibration analysis, dan engine borescope inspection, menjadi prosedur standar untuk memastikan kelayakan operasional.

Engine #1 dalam Sistem Propulsi Pesawat dan Dampaknya Pasca Bird Strike

Dalam dunia penerbangan, sistem propulsi atau mesin (engine) merupakan komponen vital yang berfungsi menghasilkan daya dorong (thrust) untuk menggerakkan pesawat. Pesawat komersial umumnya memiliki dua mesin utama yang terpasang pada sayap kiri dan kanan. Untuk tujuan identifikasi dan penanganan teknis, mesin-mesin ini diberi penomoran standar: Engine #1 merujuk pada mesin di sisi kiri (left engine) jika dilihat dari posisi pilot di kokpit, sedangkan Engine #2 berada di sisi kanan.

Penomoran ini penting dalam proses pemeliharaan, pelaporan insiden, dan pengambilan keputusan operasional, terutama ketika terjadi gangguan seperti bird strike. Dalam kejadian bird strike, dampak kerusakan bisa sangat bergantung pada posisi mesin yang terkena. Engine #1, karena berada di sisi kiri pesawat, memiliki risiko terpapar lebih tinggi saat fase lepas landas atau mendarat di bandara yang berada pada jalur migrasi burung atau dekat habitat alami

unggas (Diaz & Rodriguez, 2020). Ketika Engine #1 terkena bird strike, sejumlah risiko serius bisa muncul, di antaranya:

- a. Kerusakan bilah fan atau kompresor, yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan dan getaran mesin.
- b. Tersedotnya burung ke dalam ruang bakar, yang bisa menyebabkan kegagalan pembakaran atau kerusakan termal.
- c. Peningkatan suhu EGT (Exhaust Gas Temperature) yang tidak normal, sebagai indikator gangguan kerja mesin.
- d. Engine stall atau shutdown, yang dalam penerbangan dua mesin dapat menurunkan performa pesawat secara signifikan dan memaksa kru melakukan prosedur darurat.

Pasca insiden seperti ini, investigasi teknis dan prosedur pemeliharaan sangat penting untuk memastikan tidak terjadi kerusakan struktural tersembunyi maupun penurunan performa mesin yang bisa membahayakan keselamatan penerbangan selanjutnya. Pemeriksaan menyeluruh biasanya melibatkan visual inspection, borescope inspection, dan penggunaan metode non-destruktif untuk mendeteksi retakan mikro atau deformasi akibat tabrakan. Dengan demikian, Engine #1 bukan hanya penanda teknis, tetapi juga menjadi fokus utama dalam evaluasi kerusakan ketika terjadi insiden di sisi kiri pesawat. Penanganan dan analisis kerusakan pada Engine #1 akibat bird strike menjadi bagian krusial dalam upaya menjamin keselamatan operasional dan kesiapan pesawat untuk terbang kembali.

Pemeliharaan Pesawat sebagai Pilar Keselamatan Penerbangan

Pemeliharaan pesawat merupakan salah satu elemen paling penting dalam sistem manajemen keselamatan penerbangan. Dalam industri penerbangan modern, keberlangsungan operasi yang aman, efisien, dan andal sangat bergantung pada keberhasilan strategi pemeliharaan (maintenance) yang sistematis dan berstandar tinggi. Pemeliharaan pesawat mencakup serangkaian aktivitas teknis yang bertujuan untuk memastikan bahwa semua komponen dan sistem pada pesawat berfungsi secara optimal dan memenuhi standar kelayakan terbang sebagaimana ditentukan oleh otoritas penerbangan sipil seperti FAA (Federal Aviation Administration), EASA (European Union Aviation Safety Agency), maupun otoritas lokal seperti Direktorat Jenderal Perhubungan Udara di Indonesia (Ghadirian & Khalil, 2016).

Secara umum, pemeliharaan pesawat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu pemeliharaan preventif (preventive maintenance) dan pemeliharaan korektif (corrective maintenance). Pemeliharaan preventif dilakukan secara rutin sesuai jadwal untuk mencegah kerusakan atau penurunan performa komponen sebelum terjadi kegagalan. Hal ini meliputi inspeksi rutin, penggantian suku cadang yang telah mencapai batas usia pakai, serta pengujian

sistem. Sementara itu, pemeliharaan korektif dilakukan setelah suatu kerusakan atau malfungsi teridentifikasi, baik berdasarkan laporan dari awak pesawat maupun hasil inspeksi teknis. Di dalam pemeliharaan preventif, terdapat beberapa jenis pemeriksaan berjadwal, yaitu:

- a. Daily Check dan Transit Check, yang dilakukan setiap hari atau saat pesawat transit di bandara tertentu.
- b. A-Check dan B-Check, yaitu inspeksi berkala ringan yang dilakukan setiap beberapa ratus jam terbang.
- c. C-Check, inspeksi mendalam yang dilakukan setiap beberapa ribu jam terbang atau berdasarkan waktu tertentu.
- d. D-Check, atau dikenal juga sebagai Heavy Maintenance Visit (HMV), merupakan jenis pemeliharaan paling ekstensif yang mencakup pembongkaran besar pesawat untuk memeriksa struktur, sistem, dan integritas keseluruhan.

Selain itu, setiap komponen pesawat, termasuk mesin, avionik, sistem hidrolik, dan struktur udara memiliki jadwal dan prosedur pemeliharaan masing-masing yang telah ditentukan oleh pabrikan melalui Aircraft Maintenance Manual (AMM) dan Component Maintenance Manual (CMM). Kegiatan pemeliharaan juga wajib dilaksanakan oleh teknisi bersertifikat dan diawasi oleh inspektor kualitas (quality control) serta sistem mutu (quality assurance) yang ketat.

Dalam konteks insiden khusus seperti bird strike, pemeliharaan berperan lebih dari sekadar rutinitas teknis. Setiap kali pesawat mengalami benturan dengan burung, terutama pada komponen kritis seperti mesin (engine), struktur sayap, atau windshield, maka prosedur unscheduled maintenance harus segera dilaksanakan. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan tidak ada kerusakan tersembunyi yang bisa berkembang menjadi masalah serius di kemudian hari. Prosedur ini bisa melibatkan borescope inspection, engine performance analysis, dan pengujian struktur menggunakan metode non-destructive testing (NDT).

Pengelolaan pemeliharaan modern kini juga memanfaatkan teknologi digital dan data analitik, seperti predictive maintenance berbasis sensor dan aircraft health monitoring systems (AHMS), yang memungkinkan operator mendeteksi gejala awal kerusakan sebelum benar-benar terjadi. Strategi ini membantu mengurangi waktu henti pesawat (downtime), meningkatkan efisiensi, serta mengurangi biaya operasional jangka panjang. Dengan kompleksitas sistem penerbangan yang terus berkembang, pemeliharaan pesawat tidak hanya menjadi kebutuhan teknis tetapi juga bagian dari tanggung jawab moral dan hukum operator terhadap keselamatan penumpang dan kru. Kegagalan dalam sistem pemeliharaan bisa

berdampak fatal, sebagaimana telah dibuktikan dalam sejumlah kecelakaan penerbangan yang diakibatkan oleh kelalaian pemeliharaan atau inspeksi yang tidak menyeluruh.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, yang bertujuan untuk menggambarkan dan memahami secara mendalam fenomena yang diteliti berdasarkan data non-numerik. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk mengkaji fenomena yang kompleks, seperti proses pemeliharaan pesawat pasca insiden *bird strike*, di mana dibutuhkan pemahaman kontekstual terhadap data, dokumen teknis, regulasi, dan praktik industri penerbangan. Metode kualitatif deskriptif memungkinkan peneliti menyusun deskripsi sistematis mengenai prosedur, respon teknis, dan kebijakan yang berlaku setelah terjadinya insiden yang berdampak terhadap mesin pesawat (engine). Fokus utama penelitian ini bukan pada pengujian hipotesis, melainkan pada upaya memahami dinamika dan makna di balik tindakan pemeliharaan dan mitigasi risiko terhadap kerusakan mesin akibat *bird strike*.

Pengumpulan data dilakukan melalui studi pustaka (library research), yakni dengan menelaah berbagai sumber literatur yang relevan seperti jurnal ilmiah, dokumen teknis dari pabrikan pesawat dan mesin, manual pemeliharaan (AMM/CMM), laporan kecelakaan atau insiden penerbangan dari lembaga seperti ICAO, FAA, dan NTSB, serta regulasi yang mengatur pemeliharaan pesawat udara. Selain itu, data sekunder juga diperoleh dari artikel berita, laporan audit, dan hasil analisis industri penerbangan yang berkaitan dengan *bird strike*.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan model Miles dan Huberman, yang terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu:

a. Reduksi data (data reduction)

Tahap ini melibatkan proses pemilihan, penyederhanaan, dan pemfokusan data dari literatur yang relevan dengan tujuan penelitian. Peneliti mengidentifikasi bagian penting dari dokumen yang menjelaskan prosedur pemeliharaan, dampak insiden, serta langkah-langkah mitigasi.

b. Penyajian data (data display)

Data yang telah direduksi kemudian disusun secara sistematis dalam bentuk narasi, tabel, atau bagan untuk mempermudah penarikan kesimpulan. Penyajian data membantu menggambarkan hubungan antara insiden *bird strike*, kerusakan mesin (engine #1), dan tindakan pemeliharaan yang dilakukan.

c. Penarikan kesimpulan dan verifikasi (conclusion drawing/verification)

Pada tahap ini, peneliti menarik kesimpulan berdasarkan data yang telah dianalisis. Kesimpulan bersifat sementara dan dapat berubah seiring dengan penambahan data, namun tetap diverifikasi melalui pembacaan ulang literatur dan penelusuran sumber tambahan yang mendukung.

Untuk menjamin keabsahan data, penelitian ini menggunakan teknik triangulasi sumber, yaitu membandingkan dan mengonfirmasi informasi dari berbagai sumber pustaka yang berbeda. Misalnya, data teknis dari manual pemeliharaan divalidasi dengan dokumen resmi dari otoritas penerbangan atau hasil studi sebelumnya. Triangulasi ini bertujuan menghindari bias interpretasi dan memastikan bahwa informasi yang digunakan benar-benar sahih dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menggambarkan secara menyeluruh langkah-langkah teknis yang diambil dalam menangani insiden bird strike yang terjadi pada mesin #1 pesawat Airbus A320-216. Insiden ini memberikan gambaran nyata mengenai pentingnya prosedur pemeliharaan yang tepat pasca kejadian tak terduga yang berpotensi membahayakan keselamatan penerbangan. Data yang dikumpulkan melalui dokumentasi teknis, hasil inspeksi, dan panduan dari Aircraft Maintenance Manual (AMM) serta Troubleshooting Manual (TSM) menjadi dasar dalam menganalisis tindakan-tindakan perawatan yang dilakukan terhadap mesin pesawat. Penjabaran hasil penelitian akan difokuskan pada lima aspek utama, yaitu identifikasi insiden, tindakan pemeliharaan yang diambil, hasil evaluasi kerusakan, rekomendasi lanjutan, serta kesesuaian prosedur dengan standar industri penerbangan. Melalui pendekatan ini, artikel bertujuan tidak hanya untuk menggambarkan reaksi terhadap insiden, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan praktik keselamatan dan efisiensi dalam manajemen pemeliharaan pesawat.

Identifikasi Insiden Bird Strike

Insiden *bird strike* tercatat terjadi pada pesawat komersial jenis Airbus A320-216 dengan registrasi XYZ pada tanggal 15 Oktober 2024 pukul 05:50 UTC, bertempat di Bandara Internasional Soekarno-Hatta (CGK). Pesawat tersebut mengoperasikan penerbangan dengan nomor 1234 yang melayani rute Kuala Lumpur menuju Jakarta (KUL-CGK). Berdasarkan hasil pemeriksaan visual awal atau *walk-around inspection* sebelum keberangkatan, ditemukan adanya indikasi kontak langsung antara mesin pesawat dan burung, tepatnya pada Engine #1. Bukti fisik berupa bulu burung dan bercak darah teridentifikasi pada area inlet booster, yang

menunjukkan bahwa telah terjadi serangan burung (*bird strike*) selama atau sebelum proses pendaratan. Temuan ini menjadi dasar dilakukannya tindakan pemeliharaan lanjutan untuk memastikan keselamatan dan keandalan operasional pesawat.

Tindakan Pemeliharaan yang Dilakukan

Menanggapi temuan awal berupa bukti bird strike pada Engine #1, tim pemeliharaan segera melakukan serangkaian tindakan korektif sesuai dengan prosedur standar operasional yang tercantum dalam dokumen teknis resmi, yaitu Troubleshooting Manual (TSM) dan Aircraft Maintenance Manual (AMM). Langkah-langkah ini dimaksudkan untuk menjamin bahwa kondisi mesin pasca-insiden tetap memenuhi standar keselamatan penerbangan yang berlaku secara internasional. Pemeriksaan awal dilakukan berdasarkan TSM 05-50-00-810-803-A Rev.82, yang mengatur tata cara penanganan kejadian bird strike serta metode identifikasi dampaknya terhadap mesin pesawat. Selanjutnya, inspeksi lanjutan mengacu pada AMM 05-51-14-200-803-A Rev.82, yang secara spesifik mengatur prosedur visual inspection dan evaluasi terhadap inlet area dan komponen terkait. Kedua referensi tersebut memberikan pedoman rinci mengenai titik-titik kritis yang harus diperiksa serta langkah-langkah pemulihan awal yang wajib dilakukan.

Dalam tahap ini, prosedur pembersihan (cleaning) dijalankan terlebih dahulu untuk menghilangkan sisa material organik seperti bulu dan darah burung pada area inlet booster, sehingga tidak mengganggu proses penilaian teknis lebih lanjut. Setelah proses pembersihan, dilakukan penilaian visual (assessment) guna mendeteksi kemungkinan adanya kerusakan permukaan atau komponen yang tampak secara kasat mata. Penilaian ini penting untuk menentukan apakah dibutuhkan inspeksi lanjutan menggunakan metode non-destruktif, seperti borescope inspection, atau tidak. Seluruh rangkaian tindakan pemeliharaan ini dilaksanakan oleh tim teknisi dari organisasi IAA, yang merupakan operator resmi pemeliharaan pesawat, di bawah pengawasan langsung dari Maintenance Operations Control (MOC). Kolaborasi antara teknisi lapangan dan pengendali operasional bertujuan memastikan bahwa setiap prosedur dijalankan secara akurat, terdokumentasi, dan sesuai dengan standar keselamatan penerbangan sipil yang ditetapkan oleh otoritas terkait. Pendekatan sistematis ini menunjukkan keseriusan dalam menangani insiden bird strike, meskipun pada tahap awal tidak ditemukan kerusakan signifikan.

Hasil Pemeriksaan dan Analisis Kerusakan

Setelah pelaksanaan tahap pembersihan dan penilaian visual awal pada Engine #1 yang terdampak insiden bird strike, tim teknisi melaporkan bahwa tidak ditemukan adanya kerusakan struktural maupun fungsional yang terlihat secara kasat mata. Proses evaluasi ini

mengacu pada prosedur teknis yang tertuang dalam Aircraft Maintenance Manual (AMM) 72-00-00-200-006, yang merupakan pedoman resmi dalam melakukan inspeksi menyeluruh terhadap komponen utama mesin pasca-insiden, khususnya pada area inlet, fan, dan bagian awal dari sistem kompresor.

Pemeriksaan dilakukan secara seksama terhadap kemungkinan kerusakan seperti deformasi pada bilah kipas (fan blades), retakan halus (micro cracks), atau adanya residu asing yang berpotensi mengganggu aliran udara dan performa mesin. Hasil inspeksi menunjukkan bahwa seluruh bagian yang diperiksa masih berada dalam batas toleransi normal dan tidak ada indikasi cacat mekanis maupun gangguan fungsional langsung sebagai akibat dari dampak kontak dengan burung.

Meskipun hasil penilaian visual menunjukkan bahwa tidak terdapat kerusakan fisik yang signifikan, keputusan untuk melanjutkan ke tahap pemeriksaan lanjutan tetap diambil. Hal ini dilakukan sebagai bagian dari prinsip kehati-hatian dan komitmen terhadap standar keselamatan penerbangan yang mengharuskan setiap potensi risiko diperiksa secara menyeluruh, termasuk kemungkinan adanya kerusakan internal yang tidak dapat terlihat melalui pemeriksaan eksternal biasa. Oleh karena itu, inspeksi boreskop terhadap High Pressure Compressor (HPC) direncanakan untuk dilakukan sebelum mesin mencapai batas maksimum 25 Flight Hours (FH) atau 10 Flight Cycles (FC) pasca kejadian.

Langkah ini mencerminkan pemahaman bahwa dampak bird strike dapat bersifat laten dan tidak langsung terlihat pada fase awal pemeriksaan. Oleh sebab itu, pendekatan konservatif dan terstruktur dalam proses inspeksi menjadi sangat penting untuk memastikan tidak ada komponen yang terlewat, yang dapat berpengaruh terhadap performa mesin atau mengancam keselamatan penerbangan di masa mendatang. Evaluasi ini juga mempertegas pentingnya kombinasi antara penilaian visual dan penggunaan teknologi non-destructive dalam sistem pemeliharaan modern.

Rekomendasi Pemeliharaan dan Pencegahan

Sebagai bentuk mitigasi lanjutan terhadap potensi dampak yang ditimbulkan oleh insiden bird strike pada Engine #1, tim pemeliharaan menetapkan dilaksanakannya pemeriksaan boreskop (borescope inspection) pada komponen High Pressure Compressor (HPC). Langkah ini merupakan bagian dari strategi pemeliharaan berbasis kehati-hatian (precautionary maintenance), yang dirancang untuk memastikan bahwa tidak terdapat kerusakan internal yang mungkin tidak terdeteksi melalui pemeriksaan visual eksternal pada tahap awal. Pemeriksaan boreskop ini dijadwalkan untuk dilakukan sebelum mesin melampaui 25 Flight Hours (FH) atau 10 Flight Cycles (FC) terhitung sejak insiden terjadi. Batas waktu tersebut disesuaikan

dengan standar dokumentasi pemeliharaan pesawat dan bertujuan menjaga integritas teknis mesin dalam rentang waktu yang masih aman untuk operasional. Dengan penggunaan alat boreskop, teknisi akan dapat menginspeksi bagian-bagian terdalam dari HPC termasuk sudut-sudut sempit yang tidak dapat dijangkau dengan mata telanjang untuk mendeteksi keretakan mikro (microfractures), erosi, deformasi, atau tanda-tanda keausan akibat dampak dari material asing seperti bulu atau fragmen tulang burung.

Selain sebagai bentuk verifikasi lanjutan atas kondisi mesin, pemeriksaan ini juga dimaksudkan untuk meningkatkan status MR3, yaitu klasifikasi dalam sistem laporan pemeliharaan yang mengindikasikan adanya langkah tambahan untuk menjamin kelayakan mesin. Peningkatan status ini mencerminkan bahwa tindakan korektif telah dilakukan melebihi minimum requirement demi memenuhi prinsip airworthiness dan mengurangi kemungkinan risiko teknis di masa mendatang.

Lebih jauh, rekomendasi ini juga dapat dijadikan sebagai praktik standar pencegahan bagi unit pesawat sejenis atau yang beroperasi dalam kondisi lingkungan yang rentan terhadap kejadian bird strike. Tim pemeliharaan dan pengendali operasional (MOC) disarankan untuk melakukan evaluasi rutin terhadap area sekitar bandara, bekerja sama dengan otoritas bandara untuk mengelola habitat burung, serta meningkatkan sistem pengawasan (wildlife hazard management system). Penerapan inspeksi mendalam dan langkah pencegahan jangka menengah seperti ini mencerminkan komitmen industri penerbangan terhadap prinsip zero tolerance for safety risks, di mana seluruh kemungkinan kerusakan, baik yang tampak maupun tidak tampak, harus dipastikan dalam kondisi aman sebelum pesawat kembali dioperasikan untuk penerbangan komersial.

Evaluasi Prosedur Pemeliharaan Terkait Standar Industri

Evaluasi terhadap prosedur pemeliharaan yang dilakukan pada pesawat pasca-insiden di perusahaan ini menunjukkan bahwa seluruh tindakan pemeliharaan telah dilakukan sesuai dengan standar internasional yang berlaku di industri penerbangan. Sebagai acuan utama dalam prosedur pemeliharaan, dokumentasi teknis resmi seperti Technical Standard Manual (TSM) dan Aircraft Maintenance Manual (AMM) digunakan dengan seksama untuk memastikan setiap langkah yang diambil mengikuti pedoman yang telah diakui oleh regulator penerbangan internasional.

Pemeliharaan pasca-insiden, yang merupakan bagian penting dari sistem pengelolaan risiko penerbangan, dilakukan dengan cara yang sangat sistematis. Setiap langkah pemeliharaan tercatat dan terdokumentasi dengan rapi, mencerminkan tingkat akurasi yang tinggi dalam pengelolaan catatan teknis pesawat. Dokumentasi yang jelas ini menunjukkan

bahwa seluruh prosedur yang diterapkan sejalan dengan best practices yang sudah diterima secara global dalam industri penerbangan sipil, yang berfokus pada keselamatan dan keandalan operasional pesawat.

Sistem pengawasan yang diterapkan selama pemeliharaan juga menunjukkan bahwa setiap tahap pemeliharaan diawasi dan diperiksa dengan ketat. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa prosedur yang dilakukan tidak hanya mematuhi standar yang ada, tetapi juga untuk mengidentifikasi potensi masalah atau penyimpangan sejak dulu. Dengan adanya kontrol yang ketat terhadap seluruh proses, segala bentuk kelalaian teknis yang dapat membahayakan keselamatan penerbangan dapat diminimalisir. Dalam evaluasi ini, tidak ditemukan adanya pelanggaran prosedur atau kelalaian yang mengarah pada kesalahan teknis yang dapat memengaruhi performa pesawat setelah insiden.

Secara keseluruhan, evaluasi terhadap prosedur pemeliharaan yang diterapkan menunjukkan bahwa tindakan yang diambil tidak hanya sesuai dengan peraturan dan standar industri yang ada, tetapi juga mencerminkan komitmen yang kuat terhadap keselamatan penerbangan. Keberhasilan dalam menjalankan prosedur pemeliharaan ini dapat dilihat dari ketepatan waktu, kualitas tindakan korektif yang diambil, serta ketersediaan catatan teknis yang lengkap dan akurat, yang pada akhirnya memberikan jaminan bahwa pesawat telah siap untuk kembali beroperasi dengan aman.

Oleh karena itu, berdasarkan evaluasi ini, dapat disimpulkan bahwa prosedur pemeliharaan yang dilakukan telah memenuhi standar industri, serta tidak ditemukan adanya pelanggaran atau kelalaian dalam setiap tahap pemeliharaan yang dijalankan. Keberhasilan dalam mengikuti standar internasional ini sangat penting untuk memastikan pesawat dapat kembali beroperasi dengan performa terbaik dan dengan mengutamakan keselamatan bagi penumpang serta kru penerbangan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini fokus pada lima aspek utama, yaitu identifikasi insiden bird strike, tindakan pemeliharaan yang diambil, hasil evaluasi kerusakan, rekomendasi lanjutan, dan kesesuaian prosedur dengan standar industri penerbangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prosedur pemeliharaan yang dilakukan pasca-insiden telah sesuai dengan standar internasional, seperti TSM dan AMM. Tindakan pemeliharaan dilaksanakan dengan sistematis dan terdokumentasi dengan baik, tanpa ditemukan pelanggaran prosedur atau kelalaian teknis. Evaluasi kerusakan menunjukkan bahwa langkah korektif yang diterapkan efektif dalam memastikan pesawat kembali siap operasi dengan aman. Secara keseluruhan, pemeliharaan pesawat pasca-insiden

telah sesuai dengan praktik terbaik dalam industri penerbangan sipil, memastikan keselamatan dan keandalan pesawat.

DAFTAR REFERENSI

- ALDI, M. R. (2024). KAJIAN PENEMPATAN ALAT AUDIOSONIK PENGUSIR BURUNG GUNA MENUNJANG KEGIATAN DI SISI UDARA BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA (Doctoral dissertation, POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG).
- Choi, S. S., & Kim, K. J. (2017). "The impact of bird strike incidents on aircraft safety." *Journal of Air Transport Management*, 63, 12-18.
- Díaz, C. L., & Rodríguez, D. G. (2020). "Analysis of bird strike incidents in aviation: A review of trends and safety measures." *Aviation Safety Journal*, 15(3), 45-53.
- Ghadirian, R., & Khalil, A. (2016). "Bird strikes and aircraft engine failures: A study on the influence of bird migration patterns." *Journal of Aerospace Engineering*, 29(4), 239-245.
- Indriani, J., Lestari, M., & Novrikasari, R. F. N. Analisis Penyebab Kejadian Kecelakaan Pesawat Udara di Indonesia dengan Pendekatan the Shell Model.
- JADID, M. A. (2019). ANALISIS JOB DISKRIPSI SDM PADA KENDARAAN UTAMA DAN KENDARAAN PENDUKUNG DALAM TIAP TIAP SHIFT AIRPORT RESCUE AND FIRE FIGHTING ATAU PEMADAM KEBAKARAN DI BANDAR UDARA JUANDA SURABAYA (Doctoral dissertation, STIE MAHARDHIKA).
- Lopulalan, M. C. (2024). Practical Work on the Implementation Evaluation of Occupational Safety and Health Procedures at Zainuddin Abdul Madjid International Airport. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(4), 1550-1555.
- Mora, M., Bashory, M. H., Saaroni, Y., Setiadi, T., Rakhman, Z., & Sitompul, M. R. (2021). Risk Assessment Keberadaan Burung di Lingkungan Bandar Udara Studi Kasus: Bandar Udara Soekarno-Hatta. *Warta Ardhia*, 47(1), 82-93.
- Nopelandi, A., Rabeta, B., & Fairuza, S. (2023). Simulasi Beban IMPact Passenger Boarding Stairs Pada Skin Fuselage Dengan Variasi Sudut, Kecepatan, Dan Lokasi IMPact. *Jurnal Mahasiswa Dirgantara*, 2(2), 107-114.
- Sadono, M., Sembiring, J., Bashory, M. H., Medianto, R., Indriyanto, T., & Muhammad, H. (2021). Kajian Mitigasi Dampak Lingkungan Akibat Operasi Bandar Udara dan Pengaruh Lingkungan terhadap Operasi Bandar Udara Bali Baru. *Warta Ardhia*, 47(2), 129-142.
- Setiawan, F., Sofyan, E., & Hadi, M. (2021). Perencanaan Preventive Maintenance Ram Air Actuator pada Pesawat Boeing 737 Next Generation Menggunakan Metode Reliability Di PT. GMF Aeroasia. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 1(2), 53-62.

- Setiawan, F., Sofyan, E., & Putra, D. M. C. (2020). Analisis Reliability Sistem Starter Valve Untuk Merencanakan Aktivitas Maintenance Pada Pesawat Boeing 737 Next Generation Di Pt Gmf Aeroasia. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 6(2), 92-103.
- Setiowulandari, S. S. D., Setiowulandari, S. S. D., Ardianto, H., & Setiawan, H. (2022). ANALISIS WINDSHIELD PESAWAT BOEING 737-NG TERHADAP KEGAGALAN DENGAN MENGGUNAKAN FAILURE MODE EFFECT AND ANALYSIS DAN WEIBULL. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 330-341.
- Sofansyah, M. F., Yusfara, E. Z. Z., Septiyaningsih, R. S., & Suroso, H. C. (2025, April). Analisis Penilaian Risiko Terjadinya Birdstrike pada Area Airside dengan Metode Sowden dan Moora di Bandara X. In Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan (Vol. 5).
- Taaqbier, M., Sofyan, E., & Setiawan, F. (2021). Perancangan Aktivitas Maintenance Dengan Metode Reliability Pada Sistem Auxiliary Power Unit (Apu) Pesawat Boeing 737-500 Studi Kasus Di Pt. Mmf Surabaya. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(2), 174-183.
- Wahyuni, D., Budiman, I., & Panama, J. (2019, December). Reduksi Waste pada Aktivitas Perawatan Cabin Pesawat Udara dengan Pendekatan Lean Manufacturing. In Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE) (Vol. 2, No. 3).
- WP, S. A., & Widagdo, D. (2024). Implementasi PM 83 Tahun 2017 Dalam Penanganan Gangguan Burung Dan Hewan Liar di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang. *Journal of Creative Student Research*, 2(4), 222-232.