



Analisis Kerusakan Propeller Blade P/N R815505-6 dengan Metode *Root Cause Failure Analysis* pada Pesawat ATR 72

Damage Analysis of Propeller Blade P/N R815505 with Root Cause Failure Analysis Method on ATR 72 Aircraft

Egi Nurfauzi¹, Lilies Esthi Riyanti^{2*}, Bhima Shakti Arrafat³

21418005@ppicurug.ac.id, lilies.esthi@ppicurug.ac.id, bhima.shakti@ppicurug.ac.id

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

ABSTRAK

Propeller blade merupakan komponen yang menjadi sumber utama *thrust* (gaya dorong) pada pesawat ATR 72. Berdasarkan data *Aircraft Flight Maintenance Log (AFML)* pada kurun waktu 2019 – 2021 pesawat ATR 72, komponen *propeller blade* mengalami kerusakan yang menyebabkan perlunya tindakan *unschedule removal* yang berdampak kerugian pada maskapai seperti *delay* dan *aircraft on ground (AOG)*. Penelitian ini bertujuan untuk mencari akar penyebab kerusakan pada komponen *propeller blade*. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *Root-Cause Failure Analysis (RCFA)* dengan memakai *fault tree analisis (FTA)* dan diagram *fishbone* sebagai *tool* sehingga akan ditemukan faktor faktor yang berkaitan dengan kerusakan *propeller blade*. Hasil analisis dengan *fault tree analisis (FTA)* dan *fishbone* ditemukan akar masalah kerusakan pada *propeller blade* adalah pada area *heat element (de-icer)* sebagai *top event*, sedangkan pengoperasian *propeller blade*, perawatan *propeller blade* dan lingkungan pengoperasian pesawat ATR 72 sebagai *intermediate event*.

Kata kunci: Analisis Kerusakan; Propeller Blade; ATR 72

ABSTRACT

The propeller blade is a component that is the main source of thrust on the ATR 72 aircraft. Based on data from the Aircraft Flight Maintenance Log (AFML) for the period 2019 – 2021 ATR 72 aircraft, the propeller blade component was damaged causing the need for unscheduled removal which had impact losses to airlines such as delays and aircraft-on-ground (AOG). This study aims to find the root causes of damage to the propeller blade components. Analysis was carried out using the Root-Cause Failure Analysis (RCFA) method using fault tree analysis (FTA) and fishbone diagrams as tools so that factors related to propeller blade damage will be found. The results of analysis using fault tree analysis (FTA) and fishbone found that the root cause of damage to the propeller blade was in the area of the heating element (de-icer) as the top event, while the propeller blade operation, propeller blade maintenance and the ATR 72 aircraft operating environment were the intermediate events.

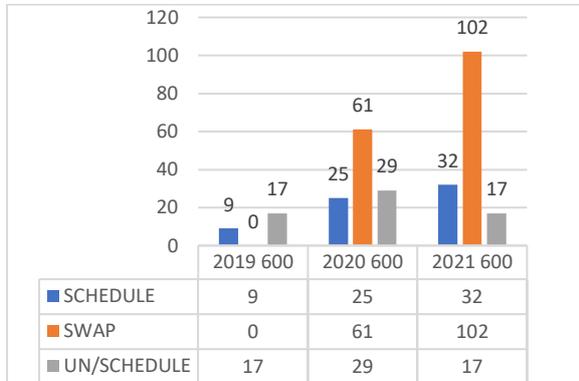
Keywords: Failure Analysis; Propeller Blade; ATR 72

1. PENDAHULUAN

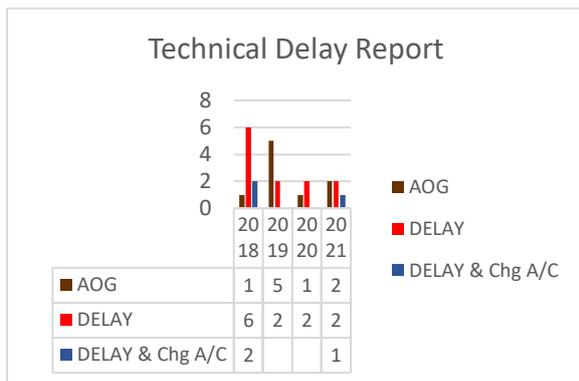
Pesawat udara sebagai alat transportasi udara wajib memenuhi standar kelaik udaraan ketika dioperasikan sebagaimana peraturan yang

terkandung pada UUNo.1 Tahun 2009 Bab 8 terkait “Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara” bagian ke tiga pasal 46 ayat 1 Maka dikatakan bahwa setiap individu yang mengoperasikan sebuah pesawat harus menjaga

keandalan dan kelaikudaraan pesawat tersebut secara berkelanjutan dengan merawat mesin, baling-baling pesawat terbang, dan komponen lainnya (Presiden Republik Indonesia, 2009).



Gambar 1. Grafik Propeller Blade Remove



Gambar 2. Grafik Technical Delay Report (TDR)

Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2, kerusakan komponen propeller blade P/N R815505-6 yang terjadi menyebabkan *unschedule removal* dan mengarah kepada terjadinya *delay* dan *aircraft on ground (AOG)*, tercatat dalam kurun waktu 3 tahun, pada tahun 2019, 2020, dan 2021 terdapat 63 *unschedule removal* pada 21 pesawat dari 48 pesawat dengan tipe yang sama. Dari data *Aircraft Flight Maintenance Log (AFML)*, dari 63 kali terdapat 36 kali *unschedule removal* dikarenakan *propeller blade* mengalami kerusakan.

RCFA sebagai metode dalam mencari penyebab akar masalah banyak digunakan dalam berbagai kasus. Menurut penelitian (Bloch, 2017), *Root Cause Failure Analysis (RCFA)* merupakan *roadmap*, pengetahuan dan penelusuran terhadap akar masalah. Penyebab kegagalan suatu mesin bisa dikarenakan dari satu atau dua dari semua kategori yang terkait. Penelitian sejenis terkait RCFA oleh (A. Awe, 2022) menyatakan bahwa

dengan menggunakan RCFA pada studi kasus kegagalan automotive brake rotor ditemukan akar penyebab masalah pada *nonmetallic inclusions* sehingga diperlukan rekomendasi pencegahan terkait penyebab utama kegagalan tersebut. Pada penelitian (Mobley, 1999) analisis akar penyebab kegagalan (RCFA) melibatkan urutan langkah logis yang mengarahkan penyidik melalui proses isolasi fakta seputar peristiwa atau kegagalan. Tahap pertama adalah memperoleh pengertian yang jelas mengenai potensi permasalahan atau kejadian. Setelah insiden dilaporkan, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis masalah sebagai kerusakan atau kegagalan peralatan, kinerja pengoperasian, kinerja ekonomi, keselamatan, dan kepatuhan terhadap peraturan. Dalam penelitian (Scolnick et al., 2016) yang menggunakan RCFA dalam mencari kegagalan operasional kantor menyatakan RCFA biasanya dilakukan pada kegagalan peralatan, namun RCFA ini dilakukan oleh operator pada kegagalan yang tidak terkait dengan peralatan. Tim RCFA awalnya mengumpulkan data yang tersedia dari tahap perencanaan dan operasi pekerjaan untuk mengidentifikasi elemen mana dari proses penyemenan yang berkontribusi terhadap kegagalan pekerjaan semen. Pada penelitian (Daffa et al., 2020) metode pemecahan masalah (RCFA) digunakan untuk mengatasi kebocoran pada tube outlet header LP evaporator HRSG dengan mengidentifikasi akar masalah menggunakan Ishikawa Diagram. Berdasarkan penelitian, faktor material merupakan faktor paling berpengaruh dari 5M dalam terjadinya kebocoran, dengan nilai kriteria fleksibilitas pipa yang melebihi batas sebesar 0,04, ketebalan pipa yang mendekati batas minimum yaitu 2,58 mm, pengoperasian yang fluktuatif, dan manajemen waktu pemeliharaan yang melebihi batas equivalent operating hour (EOH).

Kegagalan propeller blade banyak diteliti dengan berbagai metode. Studi numerik pada penelitian (Yaqin et al., 2020), hasil pembahasan umur kelelahan pada propeller kapal penangkap ikan, bahwa propeller memiliki umur kelelahan paling rendah, yaitu 0 pada area root propeller atau area yang dekat dengan poros propeller. Kondisi ini menyebabkan propeller yang memiliki desain geometri pada kapal penangkap ikan mengalami kegagalan. Analisis kegagalan pada penelitian (Felix Tjiang & Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, 2013), Ditemukan bahwa terjadi kegagalan pada bilah

turbin tekanan rendah pada mesin *Auxiliary Power Unit* TCSP700-4B. Analisis kegagalan dengan mengambil data awal kerusakan, observasi makroskopik, uji komposisi kimia, observasi mikroskopik, dan uji metalografi. Kegagalan terjadi akibat sentuhan di antara blade dan shroud, yang memicu proses catastrophic failure dimulai dari kegagalan di pasokan minyak (*oil supply*). Penelitian oleh (Khamdilah, Ali; Saleh, 2020) melihat jarum indikator Controllable Pitch Propeller (CPP) lokal tidak sesuai dengan indikator di ruang kontrol mesin CPP, mengakibatkan gangguan pada proses gerakan dan tenaga dorong dari bilah propeller yang tidak mencapai tenaga puncak yang direncanakan, dimana sudut pitch harus disesuaikan terhadap tenaga mesin yang dipergunakan. Tidak stabilnya pitch propeller disebabkan oleh gangguan pada sistem servo mounted potentiometer yang mengalami kesalahan pada nilai output (terjadinya kebocoran nilai), yang mempengaruhi kinerja solenoid pada valve hydraulic CPP untuk mengalirkan minyak hydraulic yang dipergunakan untuk menggerakkan bilah propeller. Hasil penelitian (Desmico Ekta W & Ridwan, 2020) pada high pressure turbine vane pesawat ATR 72 dinyatakan bahwa hasil perhitungan siklus Brayton menunjukkan nilai suhu masukan turbin sebesar 1836 K, yang melebihi batas suhu masukan turbin sesuai dengan manual pemeliharaan mesin. Berdasarkan uji laboratorium, terdeteksi adanya kandungan sulfur sebesar 250 mg/m² dan klorida sebesar 1800 mg/m². Kandungan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada komponen high pressure turbine vane akibat pengikisan atau korosi. Penelitian terkait pengembangan propeller blade juga dilakukan oleh (Sivaprasad et al., 2022), penelitian menggunakan analisis elemen hingga untuk menganalisis kekuatan logam dan komposit pada propeller blade, analisis statis dan modal untuk bahan isotropik menggunakan perangkat lunak ANSYS, serta analisis lapisan linier untuk bahan ortotropik. Metode FEA digunakan untuk menyelidiki dua jenis propeller blade yang berbeda, yaitu aluminium, E-glass, dan serat karbon.

Dari beberapa jurnal terkait RCFA dan kegagalan propeller serta pengembangan propeller blade, belum banyak yang meneliti dengan menggabungkan metode RCFA terhadap kegagalan yang terjadi. Dalam penelitian (Saputra & Hakim, 2016) ditemukan permasalahan terkait

Apakah perawatan baling-baling pesawat Propeller Hartzell telah dilakukan sesuai dengan prosedur perawatan yang sama untuk pesawat terbang jenis Cessna 172. Tujuannya adalah untuk melakukan analisis studi literatur mengenai prosedur merawat baling-baling Propeller Hartzell pada pesawat terbang Cessna. Dalam penelitian (Adintyo, 2019) dampak dari benda asing atau FOD (Foreign Object Damage) dapat menyebabkan kerusakan pada struktur blade kipas dan menghasilkan tanda-tanda kegagalan saat menjalankan mesin pesawat. Oleh karena itu, analisis dan pengembangan prototipe dilakukan sebagai langkah untuk mengatasi masalah ini. Pesawat ATR 72 adalah jenis pesawat penumpang regional yang menggunakan dua mesin twin-turboprop dan diproduksi oleh perusahaan pesawat ATR yang berbasis di Prancis-Italia. Pesawat ini digunakan untuk rute penerbangan regional jarak pendek. Permasalahan yang sering terjadi pada pesawat ATR 72 adalah unschedule removal propeller blade yang serigkali menyebabkan delay. Hal ini dapat dijadikan dasar terkait penyebab kegagalan propeller blade pesawat ATR 72 dengan metode RCFA mengacu pada indikasi kegagalan yang terjadi.

Dalam analisis kerusakan propeller blade diperlukan pemahaman terkait beberapa teori yaitu : pertama, perawatan menurut (Mora, 2012) kegiatan tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menjaga kondisi pesawat udara, bagian-bagian yang menyusun pesawat udara, dan peralatan-peralatan dalam keadaan yang memenuhi standar keselamatan penerbangan (airworthy). Kegiatan tersebut meliputi melakukan inspeksi, perbaikan, layanan, peremajaan, serta penggantian komponen pada pesawat. Kedua, propeller menurut (EASA, 2010) propeller adalah suatu sistem untuk menggerakkan pesawat atau perahu, terdiri dari poros yang digerakkan oleh tenaga dengan sudut-sudut yang sedang berputar aerofoil ditempatkan sedemikian rupa sehingga dapat mendorong udara atau air ke arah yang diinginkan pada saat berputar. Ketiga, *Turboprop* (Nopias et al., 2017) Dinyatakan bahwa mesin pesawat dengan sistem propeller didesain secara khusus untuk menghasilkan putaran mekanik yang digunakan untuk memutar bilah-bilah propeller. Pada pesawat dengan kecepatan rendah seperti pesawat model (aeromodelling), umumnya menggunakan propeller dengan dua bilah (2 blades).

Peneitian terhadap kerusakan pada *propeller blade* yang sering terjadi dan dapat mengakibatkan kerugian seperti terjadinya *delay* dan *AOG* bahkan pembatalan penerbangan (*cancelation*), sehingga untuk mengurangi kerusakan tersebut diperlukan pencarian permasalahan kerusakan pada *propeller blade* dan akar penyebab kerusakan pada komponen *propeller blade* tersebut.

2. METODE

Dalam penelitian ini memakai metode kualitatif melalui proses observasi, pengumpulan data sekunder dan wawancara. Sampel yang diambil adalah data *Propeller Blade* P/N R815505-6 pada pesawat ATR 72 milik PT. XYZ pada tahun 2019 sampai dengan tahun 2021.

Untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian, dibutuhkan teknik pengumpulan data yang tepat, sebagai berikut:

- a. Studi kepustakaan seperti pada buku (Indrawan, Rully; Yaniawati, 2017) yang menyatakan “pengumpulan informasi dan mempelajari atau memahami data secara mendalam melalui berbagai literatur, buku komunikasi, Component Maintenance Manual (CMM), Engineering Information jurnal, referensi lainnya.
- b. Dokumen merupakan rekaman atau catatan tentang peristiwa yang telah terjadi di masa lalu. Jenis dokumen bisa seperti tulisan, gambar, atau karya monumental yang dibuat oleh seseorang (Prof. Dr. Sugiyono, 2013). Dokumen yang memuat data untuk dianalisis adalah:
 - 1) Informasi seputar komponen propeller blade P/N R815505-6 yang diperkuat dengan referensi Aircraft Maintenance Manual (AMM), Air Transportation Association (ATA) 61, Component Maintenance Manual (CMM) dan dokumen lainnya.
 - 2) Dokumen operasional dan *Aircraft flight maintenance log* milik operator. Penulis mengambil data tersebut sebagai sumber informasi utama dalam penelitian. Data yang didapatkan diolah dan dikembangkan berdasarkan metode penelitian yang

diterapkan. Beberapa dokumen yang penulis ambil diantaranya; propeller blade P/N R815505-6 Operational Report tahun 2019 - 2020, dan beberapa dokumen Shop Finding Report.

- c. Wawancara melalui tanya jawab terhadap narasumber untuk mendapatkan informasi tambahan sebagai referensi arah observasi yang akan dilaksanakan. Angket pertanyaan menggunakan struktur pertanyaan Piramid. Struktur Piramid ini merupakan struktur pertanyaan yang diawali dengan pertanyaan umum yang kemudian dilanjutkan dengan pertanyaan mendetail untuk memperkecil topik pembahasan (Trisliatanto, 2020). Dalam angket pertanyaan diterapkan struktur piramida pada setiap instrumen wawancara. Strategi yang digunakan dalam pertanyaan tersebut adalah dimulai dengan menggunakan pertanyaan umum dan terbuka, kemudian dilanjutkan dengan pertanyaan yang lebih rinci dan tertutup untuk membatasi respons. Wawancara juga dilakukan terkait investigasi penyebab utama permasalahan yang muncul. Hasil dari wawancara ini merupakan informasi dalam melakukan investigasi mencari akar masalah dengan menggunakan metode Fault tree analysis dan fishbone diagram analysis. Wawancara dilakukan secara daring dengan beberapa narasumber engineer rating ATR 72, mekanik dan bagian *Maintenance Engineering Reliability*.

Dalam analisis data menggunakan metode RCFA dimulai dengan *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam rangka menemukan kejadian - kejadian yang menjadi penyebab kerusakan propeller blade, dan *Fishbone Analysis* sebagai *tool* untuk mendeskripsikan akar masalah paling dominan. Selanjutnya akan disajikan pada *why analisis* untuk mencari tahu atas dasar apakah kerusakan pada *propeller blade* bisa terjadi.

3. HASIL

Data kerusakan *propeller blade* tahun 2019 – 2021 dalam kurun waktu 3 tahun yang bersumber dari data AFML terdapat 36 kerusakan yang menyebabkan *unschedule removal* dari 20 pesawat. Data tersebut merupakan koleksi kerusakan yang tercatat dalam laporan atau keluhan pilot, serta laporan dari teknisi atau insinyur ketika menemukan kesalahan (*finding*) selama bekerja di lapangan. Pada hasil wawancara kepada engineer dan mekanik kemungkinan kerusakan bersumber pada saat dilaksanakan sebuah pengoperasian *thrust reverse* pada pesawat, adanya *debris* pada area *runway/apron*, perbaikan lapisan pengaman pada *leading edge* yang kurang baik, lingkungan sekitar yang panas menyebabkan *abnormality*, hujan mempengaruhi kondisi *rubber* yang menyebabkan material perekat/*sealant* terkelupas dan komponen *propeller blade* terkena benturan sehingga merusak area *propeller blade*.

Dari 36 kerusakan dikelompokkan menjadi 2 jenis kerusakan, yaitu kerusakan yang disebabkan *Foreign Object* pada *Nickel sheath* dan *Heat element broken* yang terjadi pada tahun 2019 – 2021, terhitung dari 17 Januari 2019 sampai 9 Desember 2021. Sesuai data *Aircraft Flight Maintenance Logbook (AFML)* yang dicatat oleh unit *Engineering*, penyebab kerusakan *propeller blade* sebanyak 36% (13 kali) kerusakan pada *propeller blade* karena dampak *foreign object* pada area *nickel sheath* sehingga merusak *propeller blade*. Sedangkan 64% (23 kali) kerusakan terjadi pada *heat element*, dimana *heat element* berfungsi untuk mensuplai panas/penghangat ke daerah-daerah *propeller blade* untuk mencegah pembekuan atau untuk meningkatkan kenyamanan suhu pada sebuah komponen.

4. PEMBAHASAN

RCFA adalah langkah-langkah logika untuk investigasi melalui proses pengisolasian fakta-fakta kejadian atau kegagalan dengan mencari akar penyebabnya (Qosim, 2017). Dari hasil analisis data dapat ditentukan sebagai *top event* adalah kerusakan pada *heat element*. Dalam pencarian akar penyebab terjadinya kerusakan pada *heat element* penulis mempergunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA) dengan menggunakan Fault tree analysis.

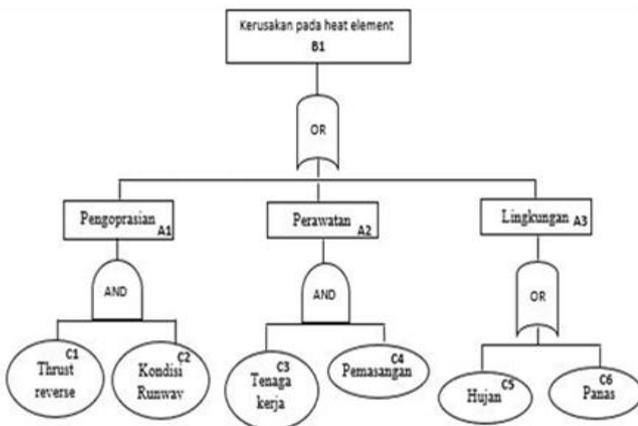
a. Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis menurut foster dalam jurnal (Ferdiana & Priadythama, 2016) adalah alat analisis yang menggunakan grafik untuk menerjemahkan kombinasi kesalahan yang menyebabkan kegagalan sistem. Teknik ini bermanfaat untuk menjelaskan dan mengevaluasi kejadian dalam sistem. Kerusakan pada elemen pemanas (*heat element*) muncul sebagai *top event* yang disebabkan oleh tiga *intermediate events* yang masing-masing memberikan pengaruh terhadap *top event* secara independen dan tidak saling mempengaruhi. Dari data lapangan dan hasil wawancara terdapat beberapa *event* yang terkait langsung dengan *top event*:

- 1) Pengoperasian diakibatkan oleh *basic event thrust reverse* dan kondisi *runway*. Penggunaan *thrust reverse* pada saat pengoperasian memungkinkan lebih besar *foreign object* terangkat, apalagi ditambah dengan banyaknya kerikil pada *runway* yang dilalui.
- 2) Perawatan diakibatkan oleh tenaga kerja yang kurang *aware* terhadap kemungkinan-kemungkinan yang menimbulkan kerusakan, sebagai contoh; ketika terdapat *spot* kerusakan yang kecil (mengelupas) pada area *rubber de-icer* diharuskan untuk menambah material tambahan agar mengurangi resiko kerusakan yang lebih besar (*blade* bisa *crack* karena terbuat dari *composite, element* terjadi *chafing* atau *short*, dan mengganggu *performance*), sehingga *spot* kerusakan tidak bertambah, selain itu terdapat faktor tambahan berupa proses pemasangan yang kurang baik karena masih terdapat *bubble* pada saat pemasangan *erosion film* menyebabkan pelindung untuk elemen pemanas mudah terkelupas pada saat dioperasikan.
- 3) Lingkungan, diakibatkan oleh kondisi cuaca hujan sehingga menyebabkan material perekat dan *sealant* terkelupas, juga cuaca panas yang menyebabkan *rubber* rentan terjadinya *abnormality* (perubahan bentuk tidak normal). Diagram FTA seperti pada gambar 3.

AFML, terdapat 15 kerusakan yang diakibatkan akar masalah *method* (metode atau proses) dari jumlah 23 kerusakan. Berdasarkan hasil dari wawancara dan brainstorming dengan engineer (rating ATR 72) sumber/penyebab permasalahan dari kerusakan *heat element* (*de-icer*) pada propeller blade P/N R815505-6 yaitu :

- 1) Lingkungan : Cuaca hujan mempengaruhi sealant dan perekat terkelupas, dan cuaca panas mempengaruhi perubahan atau abnormality dari material rubber
- 2) *Man power*/Personil : tidak adanya perbaikan pada saat terjadi kemungkinan yang menimbulkan kerusakan lebih parah (*blade* bisa *crack* karena terbuat dari *composite*, *element* terjadi *chafing* atau *short*, dan mengganggu *performance*, sehingga menambahnya tingkat kerusakan pada saat pengoperasian dan masih terdapat *bubble* pada saat pemasangan *erosion film* menyebabkan pelindung untuk elemen pemanas mudah terkelupas pada saat dioperasikan.
- 3) Metode atau proses : Penggunaan *thrust reverse* pada saat pengoperasian memungkinkan lebih besar *foreign object* terangkut, apalagi ditambah dengan banyaknya kerikil pada *runway* yang dilalui.



Gambar 3. Diagram Fault Tree Analysis

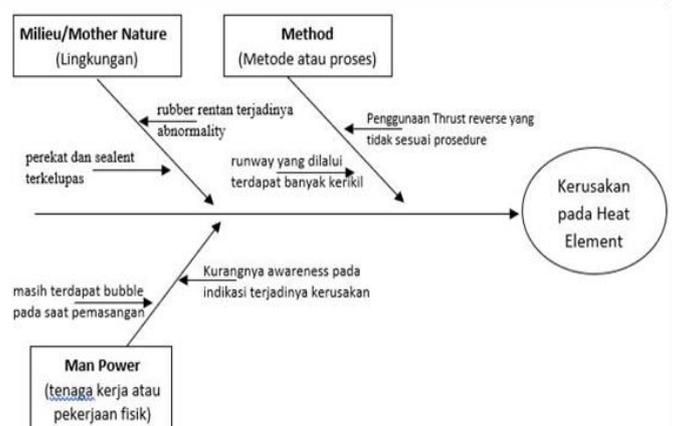
Hasil dari FTA didapatkan 3 (tiga) *intermediate event* yaitu : pengoperasian diakibatkan oleh thrust reverse dan kondisi runway, perawatan diakibatkan oleh tenaga kerja yang kurang aware terhadap kemungkinan-kemungkinan yang menimbulkan kerusakan dan proses pemasangan yang kurang baik, lingkungan diakibatkan oleh kondisi cuaca hujan sehingga menyebabkan material perekat dan sealant terkelupas, juga cuaca panas yang menyebabkan rubber rentan terjadinya abnormality.

b. Fishbone Diagram

Fishbone diagram, juga dikenal sebagai diagram Sebab-Akibat atau Cause-Effect diagram, adalah salah satu metode atau alat yang digunakan untuk meningkatkan kualitas. Diagram ini memperlihatkan dampak atau akibat dari suatu masalah dengan berbagai penyebabnya. Efek atau akibat dituliskan di bagian kepala tulang ikan, sementara itu, penyebab-penyebab yang sesuai dengan pendekatan permasalahan diwakili oleh tulang ikan. Diagram ini dikenal sebagai Cause and Effect (Sebab dan Akibat) karena menggambarkan keterkaitan antara sebab dan akibat..(Murnawan & Mustofa, 2014).

Dengan menggunakan metode *fishbone* diagram ditemukan metode atau proses sebagai akar masalah penyebab terjadinya kerusakan pada *heat element*. Data diambil dari pengelompokan kerusakan pada *heat element* yang tercatat pada

Hasil dari analisis data kerusakan dari AFML digambarkan dengan *fishbone* diagram ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Fishbone Diagram

c. *Why-why Analysis*

Metode *why-why analysis* untuk mencari *corrective action* yang cocok dengan akar penyebab kerusakan, hasil analisis pada tabel 3.

Table 3. *Why Analysis*

NO	Why	Root Cause	Corrective
1	Mengapa terjadi kerusakan pada heat element (de-icer)?	permasalahan pada saat proses pengoperasian, perawatan, dan faktor lingkungan (cuaca).	Dilaksanakan nya recurrent training terjadwal (berulang), bertujuan untuk mengingatkan lagi tentang prosedur penggunaan thrust reverse yang sudah diberitahukan kepada pilot, dan memberikan informasi terkait temuan foreign object kepada Apron Movement Control (AMC) untuk dilakukannya pembersihan secara berkala.
2	Mengapa terjadi permasalahan saat pengoperasian?	penggunaan thrust reverse, dan kerikil pada runway menyebabkan kerusakan pada area blade diantaranya heat element.	Melakukan training terkait pengetahuan dan skill perbaikan, handling, dan installation pada errosion film dan rubber (de-icer).
3	Mengapa thrust reverse dan kerikil pada runway menyebabkan kerusakan pada heat element (de-icer)	Karena ketika thrust reverse terjadi perubahan sudut propeller dari coarse-feather to reverse membuat turbulensi pada propeller sehingga kerikil pada runway terangkat.	Melakukan training terkait pengetahuan dan skill perbaikan, handling, dan installation pada errosion film dan rubber (de-icer).
4	Mengapa terjadi permasalahan pada proses perawatan?	Kurangnya awareness (pengetahuan dan skill) tenaga kerja sehingga proses pemasangan tidak akurat	Melakukan training terkait pengetahuan dan skill perbaikan, handling, dan installation pada errosion film dan rubber (de-icer).
5	Mengapa kurangnya awareness pada tenaga kerja menjadi permasalahan pada saat perawatan?	Kurangnya pengetahuan terkait kerusakan kecil yang bisa menimbulkan kerusakan lebih parah sehingga menambah tingkat kerusakan pada saat pengoperasian.	Melakukan training terkait pengetahuan dan skill perbaikan, handling, dan installation pada errosion film dan rubber (de-icer).
6	Mengapa proses pemasangan menjadi permasalahan pada saat perawatan?	karena masih terdapat bubble pada saat pemasangan errosion film menyebabkan pelindung untuk elemen pemanas mudah terkelupas	Melakukan training terkait pengetahuan dan skill perbaikan, handling, dan installation pada errosion film dan rubber (de-icer).

pada saat di operasikan.

7 Mengapa pemasangan errosion film terdapat bubble? Karena teknisi yang kurang pengetahuan dan skill saat pemasangan sehingga terdapat gelembung udara di dalam errosion film.

8 Mengapa faktor lingkungan (cuaca) menjadi permasalahan terjadinya kerusakan pada area heat element (de-icer) Karena kondisi cuaca hujan menyebabkan material perekat dan sealent terkelupas, juga cuaca panas yang menyebabkan rubber rentan terjadinya abnormality. Penggunaan cover untuk menghindari kemungkinan terkena panas dan hujan secara langsung pada saat tidak dioperasikan.

5. KESIMPULAN

Penyebab utama terjadinya kerusakan propeller blade P/N R815505-6 pada area heat element (de-icer). Hasil analisis metode RCFA dengan tool fault tree analysis, penyebab kerusakan heat element ada tiga yaitu pengoperasian dengan basic event thrust reverse dan kondisi runway, perawatan dengan basic event tenaga kerja dan pemasangan, lingkungan dengan basic event hujan dan panas. Hasil analisis dengan tool fishbone diagram diperoleh akar masalah utama adalah pada method yaitu penggunaan thrust reverse yang tidak sesuai prosedur dan kondisi runway yang dilalui pesawat ATR 72 terdapat banyak kerikil.

Dari hasil analisis RCFA kemudian dilakukan why analysis dan menghasilkan *corrective action* untuk mengurangi frekuensi kerusakan propeller blade P/N R815505-6 yaitu perlu dilaksanakannya recurrent training terjadwal (berulang) kepada pilot tentang prosedur penggunaan thrust reverse, melakukan training tentang prosedur handling dan installation errosion film dan rubber (de-icer), penggunaan cover pada propeller blade untuk menghindari dampak perubahan cuaca.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya sebagai penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada pihak dan lembaga yang telah memberikan kontribusi untuk tersusunnya jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Awe, S. (2022). Root Cause Failure Analysis of Castings: A Case Study of a Brake Rotor. *Failure Analysis [Working Title]*, October. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107950>
- Bloch, H. (2017). *Root Cause Failure Analysis* (pp. 561–571). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809272-9.00035-9>
- Daffa, M., Ekayuliana, A., & Wijayanti, F. (2020). Analisis Kebocoran Tube Outlet Header LP Evaporator HRSG dengan Metode RCFA. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(1), 35–44. <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i1.3329>
- Desmico Ekta W, M., & Ridwan, A. (2020). Studi Kerusakan High Pressure Turbine Vane Pesawat Atr72-500 Wings Air Di Bandara Sultan Syarif Kasim II Pekanbaru. *Jurnal Surya Teknika*, 7(1), 104–110. <https://doi.org/10.37859/jst.v7i1.2357>
- EASA. (2010). *Modul 17 Propeller*. EASA : Europe.
- Felix Tjiang, & Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, D. (2013). Analisa Kegagalan Low Pressure Turbine Blade Pada Mesin Apu Tscp700-4B Pesawat Dc-10-30. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(2).
- Ferdiana, T., & Priadythama, I. (2016). Analisis Defect Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) Berdasarkan Data Ground Finding Sheet (GFS) PT. GMF AEROASIA. *Prosiding Seminar Nasional Industrial Engineering Conference (IDEC) 2016*.
- Indrawan, Rully; Yaniawati, P. (2017). *Metodologi penelitian : kuantitatif, kualitatif, dan campuran untuk manajemen, pembangunan, dan pendidikan* (N. Falah Atif (ed.); ketiga). Bandung: Refika Aditama.
- Mobley, K. (1999). *RETRACTED: Root Cause Failure Analysis Methodology* (pp. 14–57). <https://doi.org/10.1016/B978-075067158-3/50002-8>
- Mora, M. (2012). Telaahan Literatur Tentang Program Perawatan Pesawat Udara. *Warta Ardhia*, 38(4), 356–372. <https://doi.org/10.25104/wa.v38i4.205.356-372>
- Murnawan, H., & Mustofa. (2014). PERNECANAAN PRODUKTIVITAS KERJA DARI HASIL EVALUASI PRODUKTIVITAS DENGAN METODE FISHBONE DI PERUSAHAAN PERCETAKAN KEMASAN PT . X Latar belakang Masalah. *Jurnal Teknik Industri HEURISTIC*, 11(1), 27–46.
- Nopias, B., Muhajir, K., & Rusianto, T. (2017). Pengaruh Gaya Dorong Propeler Pada Engine Fora Terhadap Kecepatan Pesawat Model F2D Combat. *Jurnal Teknologi*, 10(1), 59–64. <http://dle-tech.info/tag/pitch/>
- Presiden Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009* (Issue 1, pp. 1–267). Dewan Perwakilan Rakyat.
- Prof. Dr. Sugiyono. (2013). *metode pnelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D* (19th ed.). Alfabeta.
- Qosim, A. (2017). Analisis kegagalan kompresor torak PK 60-150 dengan metode FMEA. *Jurnal UNY*, 80–89. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Saputra, M., & Hakim, I. (2016). Maintenance Propeller Hartzell Pada Pesawat Cessna 172. *Jurnal Mekanova*, 2(3), 158–166.
- Scolnick, S., Garrett, J., Griffith, S., & Ward, K. (2016). Root-Cause-Failure Analysis as a Tool for Investigating Operational Failures: A Case Study. *SPE Drilling & Completion*, 31. <https://doi.org/10.2118/174804-PA>
- Sivaprasad, V., Pradhan, R., & Rao, K. (2022). DESIGN AND ANALYSIS OF COMPOSITE PROPELLER BLADE FOR AIRCRAFT. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 67–72.

<https://doi.org/10.55524/ijircst.2022.10.6.13>

Trisliatanto, D. A. (2020). *Metodologi penelitian : panduan lengkap penelitian dengan mudah* (Giovanni (ed.)). Yogyakarta : Andi.

Yaqin, R. I., Prasetyo, A. B., Pritiansyah, P., Amrullah, M. H., & Pakpahan, B. M. T. (2020). Studi Numerik Umur Kelelahan (Fatigue Life) Pada Propeller Kapal Penangkap Ikan Dengan Kapasitas Mesin 24 Hp. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 6(1), 8–17. <https://doi.org/10.31884/jtt.v6i1.245>