

Analysis Problem of Air Bleed Maintenance Message Using Fault Tree Analysis (FTA) Method

Jimi Kater¹, Bangsa Dirgantara A^{2*}, Sri Mulyani³, Istyawan Priyahapsara⁴, Fajar Khanif Rahmawati⁵, Elisabeth Anna Pratiwi⁶

¹ Line Maintenance, Technic Department, Batam Aero Technic (Member of Lion Group), Indonesia

^{2,3,4,5,6} Department of Aerospace Engineering, ITD Adisutjipto, Indonesia

Article Info

Article history:

Received November 21, 2025

Accepted Agustus 8, 2026

Published Januari 22, 2026

Keywords:

Airbus A320

Maintenance Message

Fire Early Protection

Single Air Bleed

Fault Tree Analysis

ABSTRACT

The Airbus A320 has two main engines and an Auxiliary Power Unit (APU) that generate high-temperature, high-pressure bleed air used for cabin cooling, anti-icing, and pressurization. Two temperature sensors, Fire Loop A and Fire Loop B, monitor the bleed air distribution line for hot air leaks. An Air Bleed Maintenance Message signals a malfunction in these fire protection loops and requires quick maintenance to avoid system failure. Leaks, especially near the wing and fuel tank, pose significant hazards. This study uses Fault Tree Analysis (FTA) to find the root causes of this message. The main causes identified are damaged interconnecting cables, failure in the Bleed Monitoring Computer (BMC), and faults in Fire Loop A or B. The FTA diagram helps technicians trace each component's role in the failure, aiding efficient inspection and maintenance. This method aims to boost system reliability and improve flight safety.



Corresponding Author:

Bangsa Dirgantara Adiputra,
Department of Aerospace Engineering,
ITD Adisutjipto, Indonesia
Email: *banggadirgantara@itda.ac.id

1. PENGANTAR

Bleed Air System merupakan salah satu sistem pesawat terbang sebagai pemasok udara panas bertekanan tinggi untuk dialirkan kesistem pesawat dengan menggunakan tiga sumber daya dari engine bleed, APU (Auxiliary Power Unit), dan ground source. Udara Bertekanan yang suhunya meningkat karena proses kompresi yang digunakan pada Aircraft system. Sistem yang menggunakan udara bertekanan tinggi yang disimpan dalam bentuk udara yang dimampatkan untuk menghasilkan suatu kerja disebut dengan sistem Bleed Air [1].

Permasalahan Air Bleed Maintenance Message pada Airbus A320 family dapat berdampak signifikan, termasuk penundaan penerbangan, gangguan sistem kabin pressurization, dan dapat terjadi kebakaran pada area wing pada pesawat [2]. Dengan memahami penyebab utama dari permasalahan ini, penelitian ini akan menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) untuk menganalisis faktor-faktor yang berkontribusi terhadap "Air Bleed Maintenance Message" yang muncul di cockpit display pada pesawat Airbus A320. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diidentifikasi solusi perbaikan yang lebih efektif serta langkah-langkah preventif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional pesawat Airbus A320. Dalam aspek perawatan, penelitian ini akan mengkaji prosedur scheduled maintenance dan unscheduled maintenance yang diterapkan pada pesawat Airbus A320. Data yang dikumpulkan berupa informasi mengenai jenis dan frekuensi perawatan, prosedur pemeriksaan dalam mendeteksi masalah potensial pada pesawat Airbus A320. Informasi ini diperoleh melalui wawancara dengan teknisi pesawat dan data perusahaan yang memiliki pesawat Airbus A320. Sedangkan data mengenai kinerja air bleed system dan overheat detection system (OHDS) selama operasi penerbangan dapat diperoleh dari laporan teknis dan rekaman penerbangan yang tersedia pada operator pesawat. Data ini digunakan untuk menganalisis bagaimana faktor-faktor seperti suhu, tekanan udara, dan pemakaian mempengaruhi kinerja dari Air Bleed System dan Overheat Detection System

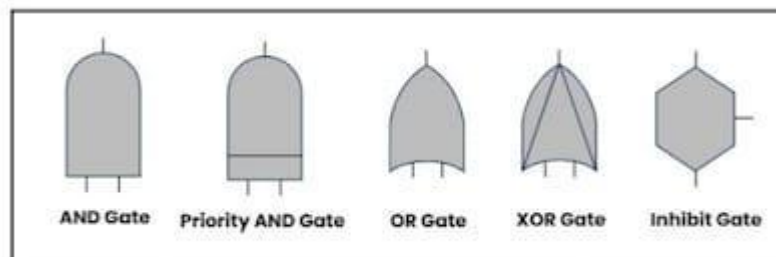
(OHDS) dalam berbagai fase penerbangan. Pencarian data dilakukan di Batam Aero Technic dengan menggunakan sistem aplikasi e-MRO. Setelah beberapa data Penyebab *Air Bleed Maintenance Message* didapatkan, selanjutnya akan dilakukan analisis kegagalannya, serta mencari rekomendasi perawatan menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*). Suatu metode *fault tree analysis* dilakukan *breakdown* dari tiga faktor komponen yang sering dapat menyebabkan *Air Bleed Maintenance Message* yaitu *Interconnecting Cable*, *BMC (Bleed Monitoring Computer)* dan *Fire Loop Detection (Sensing Element)*.

2. METODE PENELITIAN

Metode Fault Tree Analysis (FTA) adalah teknik untuk mengidentifikasi dan menganalisis kemungkinan penyebab kegagalan sistem secara sistematis, dimulai dari kejadian puncak (Top Event) hingga akar penyebabnya (Basic Event) [3], [4], FTA membantu memahami bagaimana berbagai faktor dapat berkontribusi pada kegagalan, sehingga dapat digunakan untuk mencegah atau mengurangi risiko. Metode *Fault Tree Analysis* memiliki perbedaan utama antara FTA dibandingkan dengan analisis kegagalan lainnya adalah pada umumnya analisis kegagalan lain bersifat bottom-up (analisis induktif) yang berlaku pada tingkat fungsional atau per bagian sistem. Adapun metode yang dipakai pada *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah sebagai berikut :

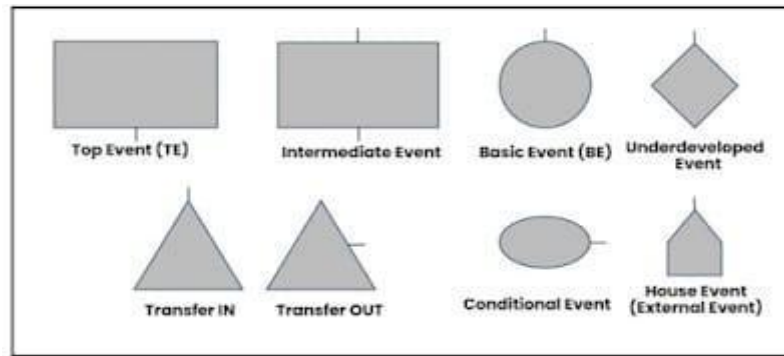
- Gerbang Logika (*Logic Gates*) [5], [6]. FTA melakukan identifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan dengan menggunakan gerbang logika sederhana. Gerbang logika adalah simbol yang dapat menggambarkan kondisi pemicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun kumpulan dari berbagai macam kondisi.
- Metode *Top Down* [7], [8]. Metode dalam konteks *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah pendekatan sistematis yang memulai analisis dari kejadian puncak (*top event*) yakni kegagalan sistem utama dan menelusuri penyebab-penyebab langsung maupun tidak langsung secara bertingkat hingga mencapai *basic event* atau akar penyebab kegagalan. Jadi FTA dapat memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan atau kerugian yang ditimbulkan tidak hanya berasal pada satu titik kegagalan [9].

Simbol gate seperti pada Gambar 1 digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul. Simbol gerbang juga dipakai untuk menunjukan hubungan di antara kejadian input yang mengarah pada kejadian *output* dengan kata lain, kejadian out put disebabkan oleh kejadian input yang saling berhubungan dengan cara-cara tertentu pada sebuah proses suatu sistem [9].



Gambar 1. Simbol-Simbol Digital Gerbang Logika [9]

Simbol kejadian seperti pada Gambar 2 digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi. Beberapa bentuk simbol kejadian (*event*) :



Gambar 2 Simbol Kejadian Event [9]

Penggunaan *Fault Tree Analysis* untuk menganalisis sebuah kesalahan dalam sebuah proyek yang dilakukan, memiliki kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut [10], [11]:

- a. Kelebihan FTA : Dalam kasus sebuah sistem yang kompleks FTA memberikan cara yang baik dan logis untuk mengintegrasikan berbagai penyebab. Konstruksi diagram pohon dapat menentukan probabilitas nilai-nilai dan membantu memberikan pemahaman yang lebih baik dari suatu sistem. FTA dapat digunakan untuk melakukan analisis sensitivitas sehingga perbedaan dari berbagai penyebab dapat dibandingkan, dampak terhadap keseluruhan sistem dengan menganalisis perubahan tersebut dengan kemungkinan nilai.
- b. Kekurangan FTA : Pengalaman dan pengetahuan yang banyak diperlukan untuk membuat diagram yang tepat. Kesalahan memasukkan sebuah masukan dapat menyebabkan memberikan hasil yang tidak benar. Sulit untuk memilih gerbang logika yang paling tepat di saluran penghubung dan hal ini dapat menimbulkan secara luas variasi-variasi nilai yang dihasilkan [12].

3. HASIL DAN ANALISIS

Pada bagian ini dijelaskan hasil penelitian dan sekaligus diberikan diskusi komprehensif. Hasil dapat disajikan dalam bentuk gambar, grafik, tabel dan lain-lain yang dibuat pembaca memahami dengan mudah [13], [14]. Pembahasan dapat dilakukan dalam beberapa sub-bab

3.1. Data Penelitian

Berikut adalah data *Pilot Report (Pirep)* dan *Maintenance Report Air Bleed Maintenance Message* yang diambil dari Aplikasi e-MRO yang di tunjukan pada Tabel 1

Tabel 1 *Pilot Report (Pirep)* dan *Maintenance Report Air Bleed Maintenance Message*

No	Date Report	A/C	Problem	Performed
1	02/12/25	PK-LAQ	AIR BLEED MAINTENANCE MSG (R WING LOOP B INOP)	PERFORM REPLACEMENT OF THE INTERCONNECTING CABLE OF THE WING LOOPS OF THE OHDS (93HF)
2	02/11/25	PK-LUF	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS	PERFORM REPLACED CABLE INTERCONNECTING (90HF).
3	01/06/25	PK-LAO	REF DMI NO: ID007314 AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE	REPLACEMENT OF INTERCONNECTING CABLE 90HF
4	29/05/25	PK-LAM	REF DMI ID002872 AIR BLEED MAINTENANCE MSG	PERFORM REPLACE OF THE BMC #1 (1HA1) CARRIED OUT
5	14/05/25	PK-LAM	AIR BLEED MAINTENANCE MSG (FOUND PIN 3B CONNECTOR AA AT BMC WAS DAMAGED)	PERFORM REPLACE OF THE BMC #1 (1HA1) CARRIED OUT
6	28/02/25	PK-LUF	REF DMI NO. ID002305 AIR BLEED MAINTENANCE STATUS	PERFORM REPLACED CABLE INTERCONNECTING (90 HF)
7	02/12/24	PK-LAI	AIR BLEED MAINT MSG (L WING LOOP A INOP)	DO THE REPLACE OF ELEMENT 81HF HAS BEEN CARRY OUT
8	11/11/24	PK-LUJ	REF DMI NO. ID008308 "AIR BLEED MAINT STATUS	REPLACEMENT CABLE INTERCONECTING 90HF HAS C/O

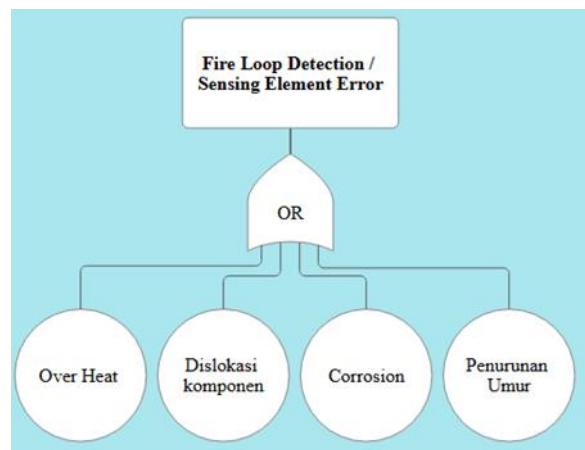
No	Date Report	A/C	Problem	Performed
9	08/11/24	PK-LUJ	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS	PERFORMED REPLACED THE INTERCONNECTING CABLES OF WING LOOPS OF OVERHEAT DETECTION SYSTEM 90HF
10	01/11/24	PK-LAQ	DMI NO: 052387, AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE	REPLACE OF CABLE INTERCONNECTING (91HF) HAS BEEN C/O
11	24/10/24	PK-LAM	REF DMI NO. ID010107 AIR BLEED MAINT STATUS	PERFORM REPLACEMENT OF THE BMC 2 & BMC 1 D/T
12	23/10/24	PK-LUJ	AIR BLEED MAINT STS	REPLACEMENT CABLE INTERCONNECTING 90HF HAS C/O
13	16/10/24	PK-BLA	REF DMI NO: ID010454 AIR BLEED MAINT MSG	PERFORM REPLACEMENT OF THE INTERCONNECTING CABLES OF THE WING LOOPS OF THE DUE HEAT DETECTION SYSTEM (90HF)
14	14/10/24	PK-LAM	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS	PERFORM REPLACEMENT OF THE BMC 2 (1HA2) BMC 1 (1HA1) D/T MIXABLE
15	26/08/24	PK-LAQ	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS APPEAR	REPLACED PART 51 & 52 HF C/O AND CLEANED OF CONNECTOR SENSING ELEMENT C/O
16	12/08/24	PK-LAM	REF DMI NO: ID010126 AIR BLEED MAINT MSG (L WING LOOP A INOP)	DO REPLACEMENT OF INTERCONNECTING CABLE 90HF
17	26/05/24	PK-LAQ	REF DMI NO. 039872 AIR BLEED MAINTENANCE MSG	REPLACE BMC 2 (1HA2)
18	02/04/24	PK-LAL	AS PER DMI NO. ID012985 "AIR BLEED MAINT"	PERFORM REPLACEMENT OF THE INTERCONNECTING CABLE (93HF)
19	23/02/24	PK-LAW	AIR BLEED MAINTENANCE MSG	PERFORM REPLACE CABLE 91 HF INTERCONNECTING C/O
20	18/02/24	PK-LUF	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS APPEAR ON ECAM	REPLACE CABLE INTERCONNECTING 91HF REF ASM 36-22-01 C/O DO CONTINUITY CHECK AGAIN RESULT 40 OHM
21	12/02/24	PK-LAM	AIR BLEED MAINT MSG (L WING LOOP A INOP)	MENT OF INTERCONNECTING CABLE 90HF
22	26/01/24	PK-LAL	AIR BLEED MAINT STATUS	PERFORM REPLACEMENT OF THE INTERCONNECTING CABLE (93HF)
23	22/01/24	PK-LAT	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS	PERFORMED REPLACED BLEED MONITORING COMPUTER (1HA1)
24	20/01/24	PK-BDF	REF DMI NO. 011313 "AIR BLEED MAINT MSG "	PERFORMED REPLACED DELTAPRESS SENSOR (18 HAZ)
25	01/01/24	PK-LAQ	AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE	DO REPLACE OF CABLE INTERCONNECTING (91HF) HAS BEEN C/O
26	20/11/23	PK-LUG	AIR BLEED MAINT MSSG	PERFROM REPLACEMENT OF THE INTECONNECTION CABLE 90HF HAS BEEN C/O
27	17/10/23	PK-LAF	AIR BLEED MAINT MSG	DO REPLACEMENT INTERCONNECTING CABLE 90HF
28	10/10/23	PK-LAY	AIR BLEED MAINT MSG	INTERCONNECTING CABLE 90HF HAS BEEN REPLACED
29	16/08/23	PK-LAZ	AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE	DO BITE TEST OF BMC #1 C/O AND REPLACED INTERCONNECTING CABLE 90HF
30	05/07/23	PK-LAO	AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE	PERFORMED REPLACED BMC 2 (1HA2) C/O

No	Date Report	A/C	Problem	Performed
31	25/06/23	PK-LAQ	AIR BLEED MAINTENANCE STATUS MSG L WING LOOP B INOP, NEED SPARE	PERFORM REPLACEMENT SENSING ELEMENT 62HF
32	04/06/23	PK-LAM	AIR BLEED MAINTENANCE MSG	PERFORMED REPLACED BMC #2
33	26/05/23	PK-LAO	REF DMI 039652 AIR BLEED MAINTENANCE MSG	PERFORMED REPLACED BMC 2 (1HA2) C/O
34	17/02/23	PK-LAY	REF DMI NO.045735 AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE "L WING LOOP A INOP"	PERFORMED REPLACED INTERCONNECTING CABLE (91HF)
35	16/01/23	PK-LUW	REF DMI NO 051886 AIR BLEED MAINT MESSAGE	REMOVAL AND INSTALLATION OF REPLACE BMC #2 (1HA2)
36	15/01/23	PK-BKK	AIR BLEED MAINTENANCE MESSAGE	BLEED REG PRESSURE TRANSDUCER HAS BEEN REPLACED

3.2. Penyebab Air Bleed Maintenance Menggunakan Diagram FTA (Fault Tree Analysis)

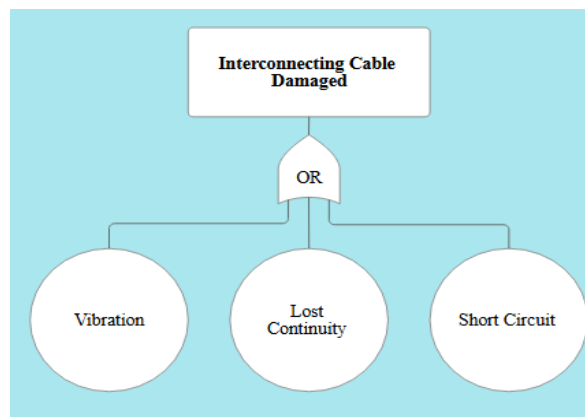
3.2.1. Fire Loop Detection / Sensing Element

Penyebab *Air Bleed Maintenance Message* adalah dari berbagai komponen yang ada di dalam *Air Bleed System* dan *Overheat Detection System* (OHDS) juga dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah kerusakan pada komponen *Fire Loop Detection / Sensing Element*. Berikut ini metode yang digunakan berupa alur gerbang logika untuk mendeteksi kebocoran pipa tersebut [13]. Dari hasil Fault Tree Analysis diatas, bahwa Fire Loop Detection / Sensing Element pada Gambar 3 mengalami eror dikarenakan empat hal yaitu *Overheat*, Dislokasi komponen, *Corrosion*, dan Penurunan umur [14].



Gambar 3 FTA Fire Loop Detection / Sensing Element

3.2.2. Kegagalan Pada Komponen Interconnecting Cable

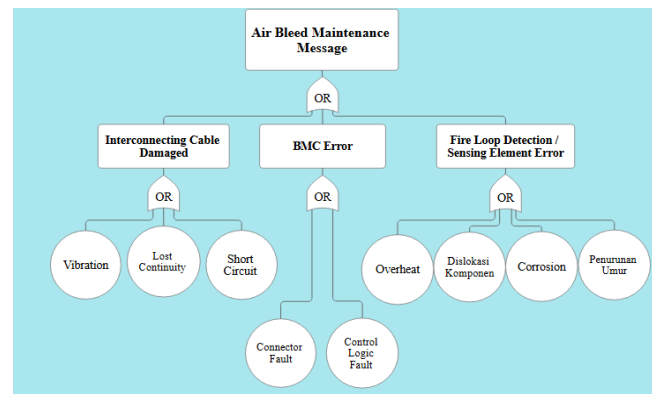


Gambar 4 Faktor Kegagalan Pada komponen *Interconnecting Cable*

Dari hasil *Fault Tree Analysis* pada Gambar 4 mengenai faktor kegagalan pada sistem komponen *Interconnecting Cable Damaged* Kegagalan pada komponen tersebut dapat diakibatkan karena *vibration*, *short circuit*, dan *lost continuity*.

3.2.3. Kegagalan Pada Komponen BMC (*Bleed Monitoring Computer*)

Faktor kegagalan pada komponen BMC (*Bleed Monitoring Computer*) error dapat diakibatkan karena Bleed Monitoring Computer (BMC) mengalami error karena connector fault dan control logic fault. Dalam mengidentifikasi kegagalan pada Air Bleed Maintenance Message hasil akan didapatkan setelah menentukan minimum cut set pada Fault Tree Analysis akan dijelaskan pada gambar 5.



Gambar 5 Diagram *Fault Tree Analysis* Air Bleed Maintenance

3.3. Pembahasan Menggunakan Metode Kuantitatif

Pada analisis FTA ini dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif, yakni menggunakan gerbang logika *AND* atau *OR* dengan cara memetakan berbagai kemungkinan penyebab kegagalan utama (*top event*) tanpa melibatkan data kuantitatif seperti probabilitas atau frekuensi kejadian. Salah satu cara utamanya adalah menemukan kombinasi penyebab minimal (*minimal cut sets*) yang cukup untuk memicu kegagalan utama. Minimal cuts set untuk masalah *Air Bleed Maintenance* dapat dijabarkan sebagai berikut:

Top Event

$$\begin{aligned}
 \text{Air Bleed Maintenance Message} &= (\text{Interconnecting Cable} + \text{BMC Error} + \text{Fire Loop Detetction / Sensing Element Error}) \\
 &= (\text{Vibration} + \text{short circuit} + \text{lost continuity}) + (\text{connector fault} + \text{control logic fault}) + (\text{Overheat} + \text{Dislokasi komponen} + \text{Corrosion} + \text{Penurunan Umur})
 \end{aligned}$$

$$\text{Minimal Cut Set (MCS)} = \text{Vibration} + \text{short circuit} + \text{lost continuity} + \text{connector fault} + \text{control logic fault} + \text{Over Heat} + \text{Dislokasi komponen} + \text{Corrosion} + \text{Penurunan Umur}$$

Berdasarkan hasil dari metode *Fault Tree Analysis* diperoleh 9 *basic event* yang dapat menyebabkan kegagalan pada *Air Bleed Maintenance* yaitu *Vibration*, *Lost Continuity*, *Short Circuit*, *Connector Fault*, *Control Logic Fault*, *Over Heat*, *Dislokasi Komponen*, *Corrosion*, *Penurunan Umur*. Berikut ini adalah *basic event* yang dapat menyebabkan masalah *Air Bleed Maintenance*:

- **Vibration:** Kondisi ini terjadi ketika pesawat landing, karena komponen *Interconnecting Cable* terdapat pada bagian pertengahan antara bodi pesawat dan sayap pesawat maka rentan terkena *vibration* yang membuat komponen tersebut menjadi longgar dan dapat merusak struktur dasar kabel sehingga arus listrik yang dialiri tidak akurat.
- **Lost Continuity:** Kondisi ini terjadi karena *internal failure* pada *Interconnecting Cable* (arus terputus), sehingga komponen tidak bisa memberikan nilai akurat.
- **Short Circuit:** Kondisi ini terjadi karena sambungan *abnormal* diantara dua titik karena kabel terkelupas dan terhubungnya kabel dengan kabel lainnya atau terhubung dengan bodi pesawat.
- **Connector Fault:** Kondisi ini terjadi karena *connector pin* BMC (*Bleed Monitoring Computer*) tidak terhubung dengan sempurna atau ada *connector pin damaged*.
- **Control Logic Fault:** *Control logic fault* ini terjadi saat BMC tidak bisa memvalidasi pembacaan dari *fire detection loop* karena adanya masalah pada jalur sinyal, sensor, atau logika internal komputer itu sendiri.

- **Over Heat:** Over heat pada salah satu *Fire Loop* atau *Sensing Element* dapat menyebabkan perubahan nilai resistance yang signifikan. Perubahan ini dapat terbaca di luar ambang normal oleh BMC, sehingga memicu munculnya *Air Bleed Maintenance Message* sebagai indikasi adanya potensi kebocoran udara panas (*bleed leak*).
- **Dislokasi Komponen:** Kondisi ini terjadi karena kesalahan seorang teknisi saat memasang sebuah komponen, bisa karena tidak sesuai manual atau terlalu
- lelah dalam bekerja.
- **Corrosion:** Kondisi Ini terjadi karena komponen terkena oli atau *grease* yang menyebabkan korosi pada komponen tersebut.
- **Penurunan Umur:** Kondisi ini terjadi karena sebuah komponen mempunyai kemampuan atau fungsional yang menurun seiring waktu dan penggunaan, hingga akhirnya komponen tersebut gagal berfungsi atau tidak lagi memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

3.4. Identifikasi Penyebab *Air Bleed Maintenance Message*

komponen yang paling banyak mengalami kerusakan adalah *Interconnecting Cabel* dengan (20 kasus), BMC (11 kasus), *Sensing Element / Fire Loop* (3 kasus), Delta Sensor (1 kasus) dan *Regulator Pressure Transducer* (1 kasus) [15]. Oleh karena itu perlu adanya dilaksanakan *Preventive Maintenance* untuk mencegah terjadinya permasalahan *Air Bleed Maintenance Message* dapat di minimalisir. Berikut adalah langkah- langkah preventive maintenance yang dapat dilakukan:

- a. Melakukan Inspeksi Rutin (Healthy Check).
- b. Memberikan Pelatihan Kepada Teknisi.
- c. Evaluasi Berkala dan Berkoordinasi Dengan Produsen
- d. Melakukan Metode *Wetting Current*

4. KESIMPULAN

Pada Line Maintenance Batam Aero Technic, perawatan yang dilakukan pada komponen OHDS (*Over Heat Detection System*) adalah perawatan *Time Directed Maintenance* dan *Failure Finding*, yaitu perawatan atau penggantian komponen dilakukan jika sudah memasuki batas usia komponen atau terjadi kerusakan jika ada laporan keluhan dari pilot atau engineer ketika sedang melakukan *operational test* maupun *functional test*. Dibawah ini merupakan rekomendasi perawatan *preventive* yang dianjurkan berdasarkan kriteria diatas dan dipilih untuk komponen OHDS (*Over Heat Detection System*).

a. *Condition Directed (CD)*

Penulis merekomendasikan tindakan ini untuk komponen OHDS (*Over Heat Detection System*) yang mempunyai tingkat resiko kegagalan yang tinggi. Dengan tindakan ini, kegagalan komponen dapat diantisipasi dengan memonitor dan mendeteksi awal kegagalan sehingga kegagalan dapat dicegah.

b. *Failure Finding*

Penulis merekomendasikan perawatan ini dikarenakan kerusakan tidak dapat diprediksi diakibatkan oleh jumlah *part hours* dan *part cycle* yang berbeda- beda pada komponen OHDS (*Over Heat Detection System*). Perawatan pencegahan seperti fungsi tersembunyi (*hidden function*) secara *periodic* atau terjadwal sangat diperlukan untuk memastikan kapan suatu komponen akan mengalami kegagalan.

DAFTAR PUSTAKA (10 PT)

- [1] "Training Manual Airbus A320,".
- [2] Aljaly K., A. O., S. Sultan, and F. Masmoudi, "The Effect of Flights Delayed on Passenger Load and Utilization of Airbus A320 Aircraft,," in *International Conference on Acoustics and Vibration*, 2022, pp. 125–139.
- [3] Suseno and S. I. Kalid, "Pengendalian Kualitas Cacat Produk Tas Kulit dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) di PT Mandiri Jogja Internasional,," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 1, no. 6, pp. 1307–1320, 2022.
- [4] B. N. Nabila, S. S. Dahda, and E. D. Priyana, "Penerapan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) pada Mesin Produksi untuk Peningkatan Keandalan,," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 4, no. 4, pp. 1613–1623, 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i3.1039.
- [5] Fedrico, C. J. Nainggolan, I. M. Saragih, M. A. Rusmanto, and Y. T. Ginting, "Analisis Faktor Kerusakan Mesin terhadap Produktivitas PT XYZ menggunakan Fishbone Diagram, FTA, dan Diagram Afinitas,," *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 909–913, 2024, doi: 10.32734/ee.v7i1.2292.
- [6] S. Meutia and A. G. Nasution, "Analisa Kerusakan Pada Mesin First Press Dan Second Press Pada Stasiun Press Expeller Dengan Metode Fault Tree Analysis (Fta) Di Perkebunan Nusantara Iii (Persero) Pko Sei Mangkei,," *Ind. Eng. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–9, 2024.
- [7] M. S. Maulidy, Akhmad Wasiur Rizqi, and Efta Dhartikasari Priyana, "Analisis Kegagalan Sistem Ship Unloader 2 Menggunakan Metode FMEA dan FTA,," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 4, no. 3, pp. 1106–

- 1117, 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i3.1190.
- [8] A. P. P. Purba, R. F. Lubis, and T. M. Sitorus, "Pengendalian Dan Perbaikan Kualitas Produk Furniture Dengan Penerapan Metode Sqc (Statistical Quality Control) Dan Fta (Fault Tree Analysis)," *J. Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind.*, vol. 22, no. 2, p. 366, 2022, doi: 10.36275/stsp.v22i2.545.
 - [9] M. Riadi, *Fault Tree Analysis (FTA) - Fungsi, Metode, Simbol, dan Langkah Pembuatan*. 2024.
 - [10] I. Mashabai and A. Isti'ananah, "Analisis Defect Pada Beton U-Ditch di PT.Sinar Bali Binakarya Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)," *J. Ind. Teknol. Samawa*, vol. 4, no. 2, pp. 83–86, 2023.
 - [11] I. Sari, P. P. Putra, and A. Ratnaningsih, "Analisis Risiko Teknis Pelaksanaan Pekerjaan Penggantian Elastomer Bearing Pad Pada Jembatan Suramadu Menggunakan Fault Tree Analysis Method," *J. Ilm. MITSU (Media Inf. Tek. Sipil Univ. Wiraraja)*, vol. 11, no. 1, pp. 28–38, 2023, doi: 10.24929/ft.v11i1.2110.
 - [12] J. Moubray, *Reliability-centred maintenance*. Industrial Press Inc., 2001.
 - [13] P. A. Sallem Soumaya, Sommervogel Laurent, Olivas Marc, "Method and Device for Hot Air leak Detection in aircraft Installation by Wire Diagnosis," 2019.
 - [14] "AirBus A32 Family, System Schematic Manual ATA," 2024.
 - [15] "Batam Aero Technic, 'Batam Aero Technic e-MRO'." 2024.