



Analysis Pneumatic System of The Causes of Engine Bleed Trip on Boeing 737-900 ER Aircraft Using the Fault Tree Analysis (FTA) Method

Muhammad Hadi Kurniawan¹, Bangsa Dirgantara Adiputra^{2,*}, Fajar Khanif Rahmawati², Sri Mulyani², Elisabeth Anna Pratiwi²

¹ Line maintenance, Hong Kong Aircraft Engineering Company, Hongkong

²Department of Aerospace Engineering, ITD Adisutjipto, Indonesia

Article Info

Article history:

Received June 25, 2025

Accepted July 10, 2025

Published January 14, 2026

Keywords:

Engine Bleed Trip
Engine Bleed Air System
Fault Tree Analysis

ABSTRACT

The Engine Bleed Air system is one of the primary systems in an aircraft and Its components include the Pressure Regulating Shutoff Valve (PRSOV), Bleed Air Regulator (BAR), High Stage Valve (HSV), High Stage Regulator (HSR), Precooler Control Valve (PCCV), and PCCV sensors 390 and 450. Any malfunction in these components can directly impact aircraft safety and flight operations. This research analyzes the performance failures of the system in regulating the temperature and pressure distributed by the bleed air system, particularly focusing on engine bleed trips. This study aims to determine the percentage of necessary component replacements in the air bleed engine system using the Fault Tree Analysis (FTA) method. Primary data is collected from aircraft maintenance databases and interviews. The percentage of main component replacements needed are: thermostat sensor 390 (42.3%), Precooler Control Valve (19.2%), Pressure Regulating Shutoff Valve (11.5%), and Bleed Air Regulator (7.7%). The remaining components account for the other percentages.



Corresponding Author:

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

1. PENGANTAR

Boeing 737 *Next generation* juga mempunyai mesin CFM56-7B buatan CFM *International* dilengkapi dengan performa dan kemampuan daya dorong lebih besar dari generasi sebelumnya dengan jarak yang ditempuh lebih lama dan lebih ekonomis dan menguntungkan bagi operator penerbangan dan mampu menghemat bahan bakar sebesar 1% dengan mengurangi emisi karbon *durability* [1]. penulis akan membahas salah satu tipe pesawat berjenis *narrow body* yaitu Boeing 737-800/900 ER yang mengalami kegagalan atau *failure* pada salah satu sistem pneumatiknya [4]. Sistem *Pneumatik* menyalurkan udara panas bertekanan tinggi yang dikompresi melalui kompressor didalam *engine*, APU maupun *Gas Turbine Compressor* (GTC) yang sangat mempengaruhi keamanan dan kenyamanan pada pesawat saat di darat maupun di udara dengan salah satu sumbernya dari *Engine Bleed Air System*. Sistem ini berfungsi untuk memasok udara panas bertekanan tinggi yang berasal dari *Engine* ke *user systems* atau sistem penggunaanya seperti *Engine Start Systems*, *Air Conditioning and Pressurization Systems*, *Engine Inlet Cowl Anti-ice Systems*, *Water Tank Pressurization System*, *Inert Gas*

System, dan *Hydraulic Reservoir Pressurization System* [2]. Analisa *engine bleed trip* pada pesawat Boeing 737 untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah dalam sistem tersebut. Tujuan melakukan analisa adalah untuk menemukan solusi yang sesuai terkait perbaikan dan pemeliharaan agar dapat memberikan rekomendasi perawatan yang tepat dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) [3].

2. METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data yang dilakukan di Hangar Denpasar *Line Maintenance Batam Aero Technic*, seperti mengumpulkan data komponen yang mengalami kerusakan dan kemampuan serta usia komponen itu sendiri yang menjadi penyebab "*Engine Bleed Trip Off Amber Light On*" yang mengindikasikan lampu menyala pada Boeing 737-800/900ER dengan Tipe Engine CFM56-7B. Terdapat 16 kasus yang dilaporkan pada periode Juni 2024 s.d. Desember 2024 dan sebagian besar perbaikannya dilakukan dengan cara pergantian komponen *Precooler Control Valve* (PCCV), *Precooler Control Valve* (PCCV) *Sensor 390°F*, BAR dan PRSOV *Sensor Thermostat 450°F*, *Bleed Air Regulator* (BAR), *Pressure Regulator and Shutoff Valve*(PRSOV). Setelah beberapa data penyebab *Engine Bleed Trip* didapatkan, selanjutnya akan dilakukan analisis kegagalannya, serta mencari rekomendasi perawatan menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*). Suatu metode *fault tree analysis* dilakukan *breakdown* dari dua faktor yang dapat menyebabkan *bleed air leak detection system* tidak dapat mendeteksi kebocoran pada *bleed air duct*.

3. HASIL DAN ANALISIS

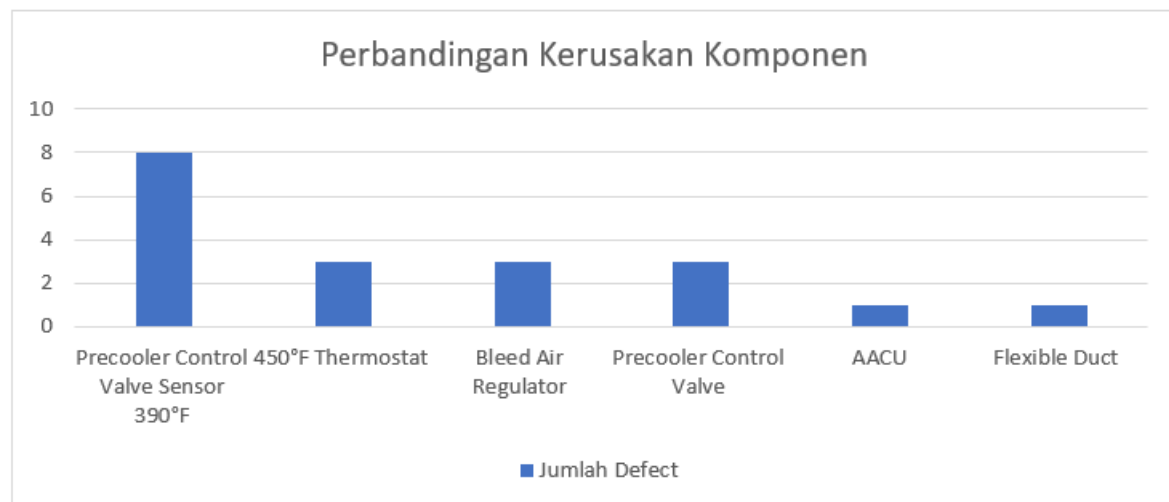
Pengumpulan data diperoleh dari (*e-MRO*) PT. Batam Aero Technic yang didalamnya terdapat riwayat serta informasi detail tentang *Engine Bleed Trip Off Illuminate* dengan tindakan penyelesaiannya. Berikut Tabel 1 adalah daftar laporan masalah berserta tindakan penyelesaiannya *Engine Bleed Trip Off Illuminate* pada Boeing 737-800/900ER yang dioperasikan oleh Lion Group dalam kurun waktu 12 bulan terakhir [7]:

Tabel 1 Data Lion Air Tentang Kasus *Engine Bleed Trip* Boeing 737

NO	AC REG	REPORT DATE	DEFECT	SOLUTION
1	9M-LDK	07 JULI 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT COMES ON DURING CLIMB	REPLACE PCCV SENSOR (390 F)
2	PK-LHU	27 AGUSTUS 2024	L/H BLEED TRIP OFF LIGHT ILL ONCE DURING FLIGHT	REPLACE PCCV SENSOR (390 F)
3	PK-BGR	29 AGUSTUS 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATED DURING CRUISING ENG 1	REPLACE PCCV SENSOR (390 F) DAN 450 F THERMOSTAT
4	PK-LGS	11 OCTOBER 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT COMES ON DURING IDLE DESCENT (#2)	REPLACE BAR
5	PK-LJQ	20 NOVEMBER 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT COMES ON DURING CLIMB LIGHT NO.2	REPLACE PCCV
6	9M-LCR	04 DESEMBER 2024	LEFT BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATED	REPLACE BAR
7	HS-LUY	07 JANUARI 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATE (R)	REPLACE PCCV SENSOR (390 F)
8	PK-LKK	07 JANUARI 2024	ENG#2 BLEED TRIP OFF LT COME ON	REPLACE PCCV SENSOR (390 F)

9	PK-LDM	16 JANUARI 2024	LEFT BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATE ON	REPLACE PCCV SENSOR (390 F) DAN 450 F THERMOSTAT
10	PK-LDM	02 FEBRUARI 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATE ENG #1	REPLACE FLEXIBLE DUCT CONTROL PRESSURE SENSE LINE
11	9M-LCM	09 SEPTEMBER 2024	NO.2 BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATED	REPLACE BAR
12	9M-LCM	14 AGUSTUS 2024	RIGHT BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATED AFTER TAKE OFF	REPLACE PCCV SENSOR (390 F) DAN 450 F THERMOSTAT
13	9M-LCM	21 APRIL 2024	RIGHT BLEED TRIP OFF LIGHT ILLUMINATED AFTER TAKE OFF	REPLACE AACU
14	PK-LGR	07 MARET 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT COMES ON DURING CRUISE LIGHT NO 1	REPLACE PCCV
15	PK-LSU	08 MEI 2024	BLEED TRIP PFF LIGHT COMES ON DURING CLIMB LIGHT NO 2	REPLACE PCCV SENSOR (390 F)
16	PK-LHL	24 JUNI 2024	BLEED TRIP OFF LIGHT COMES ON DURING CLIMB. LIGHT NO 1	REPLACE PCCV

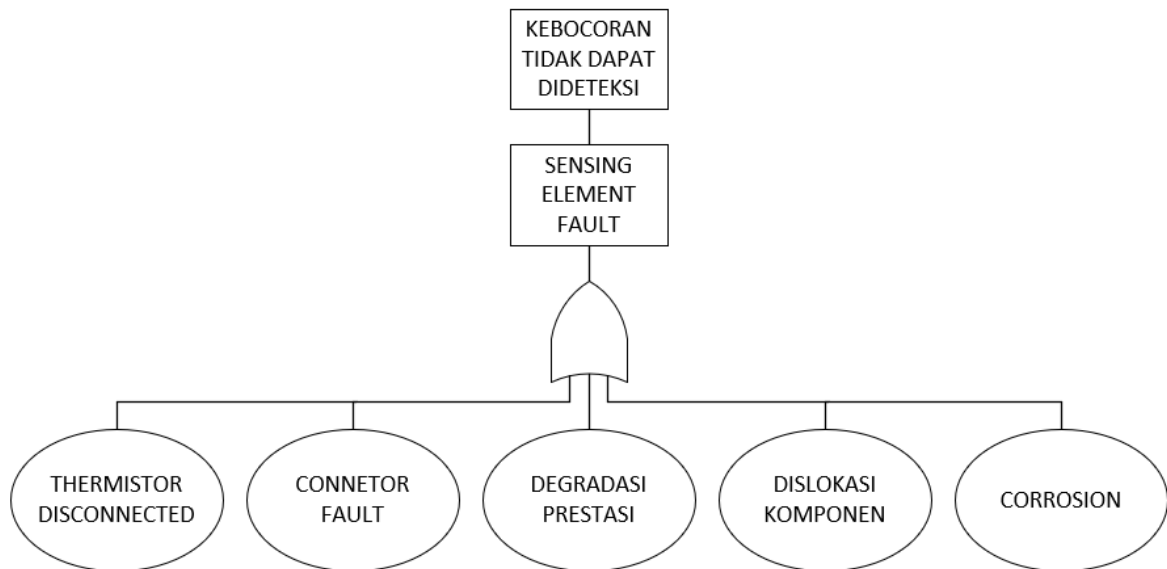
Dengan menganalisis data hasil pengecekan dan perbaikan pada sistem tersebut menggunakan diagram *fishbone* pada Gambar 1 dapat kita gali penyebab terjadinya *Engine Bleed Trip Off Light Illuminate* sebagai berikut:



Gambar 1. Perbandingan Jenis *Defect* Terhadap Jumlah Terjadinya *Defect*

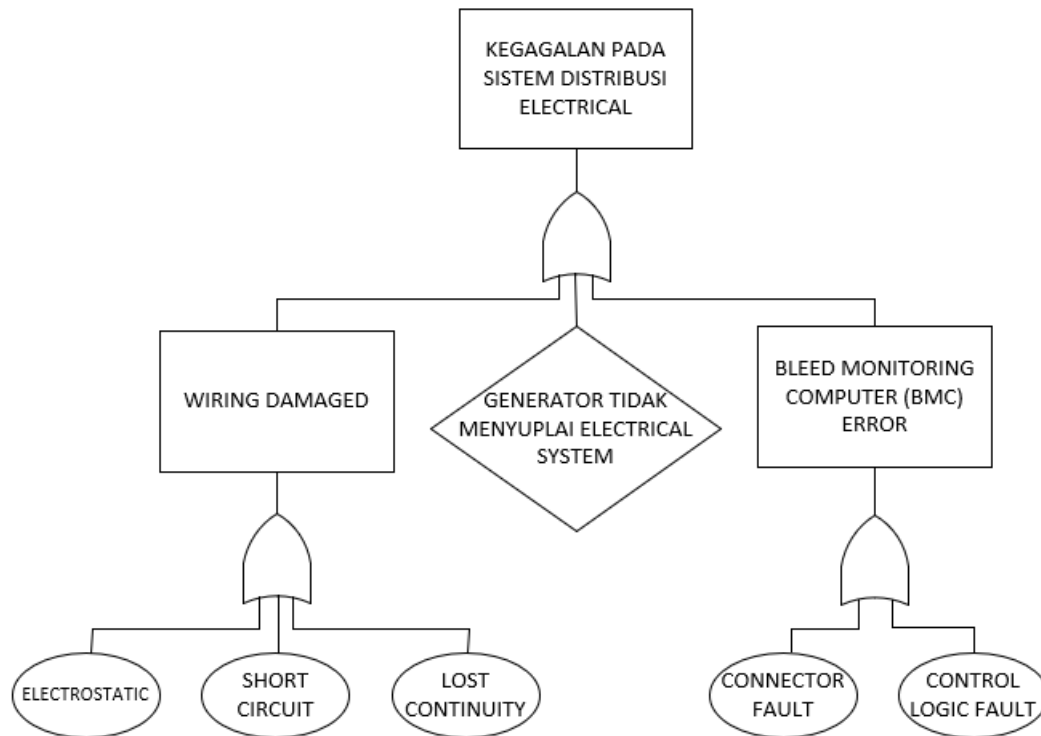
Berdasarkan data diatas pada Gambar 1, komponen yang paling banyak mengalami kerusakan adalah *Precooler Control Valve Sensor 390°F* dengan 8 kasus, *450°F Thermostat* (3 kasus), *Bleed Air Regulator* (3 kasus), *Precooler Control Valve* (3 kasus) dan yang paling sedikit adalah AACU (1 kasus) serta *Flexible Duct* (1 kasus). Kerusakan tersebut terjadi dikarenakan faktor umur yang sudah tua sehingga ada penurunan performa dalam komponen tersebut. Tindakan perbaikan saat terjadi *Engine Bleed Trip Off Light Illuminate* dengan melakukan *Engine Bleed Healthy System Check* dengan cara menggunakan *Special Tool* untuk mengecek komponen *Engine Bleed System* sebagai proses *Troubleshooting* yang nantinya menjadi referensi untuk menentukan bagian *part* yang sudah tidak bekerja dengan baik.

Selain penyebab *Engine Bleed Trip Light Illuminate* adalah dari berbagai komponen yang ada didalam *engine* juga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah kebocoran pipa saluran yang diambil untuk beberapa sistem penggunaannya, Gambar 2 merupakan metode yang digunakan berupa alur gerbang logika untuk mendeteksi kebocoran pipa [5]. Dari hasil *fault tree analysis*, dapat diketahui bahwa *bleed air leak detection system* tidak dapat mendeteksi adanya kebocoran dikarenakan *sensing element fault* yang bisa diakibatkan karena 5 hal yaitu *thermistor disconnected*, *connector fault*, degradasi prestasi, dislokasi kompoen, dan *corrosion* [6].



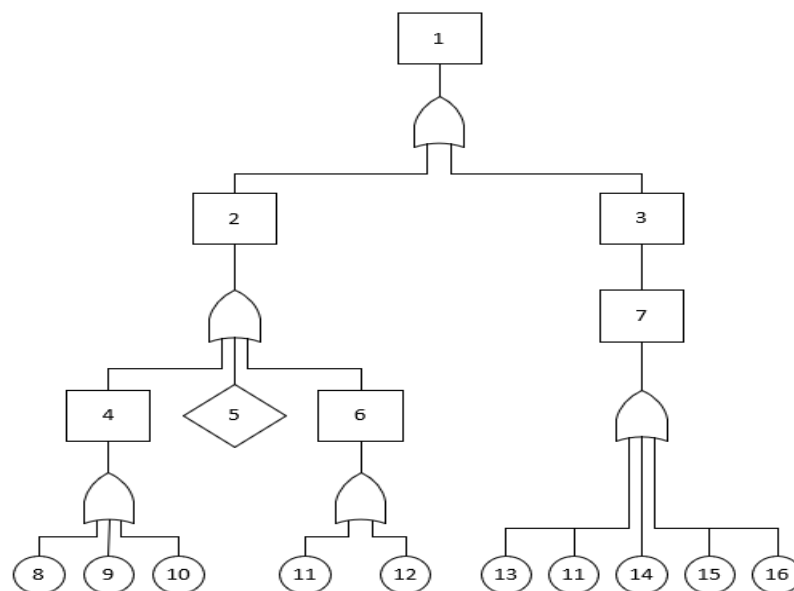
Gambar 2. FTA Faktor Kebocoran Tidak Dapat Dideteksi

Hasil *fault tree analysis* pada Gambar 2 mengenai mengenai faktor kegagalan pada sistem distribusi, dapat dijelaskan bahwa *bleed air leak detection system* mengalami kegagalan pada sistem distribusi *electrical* yang bisa diakibatkan karena *wiring damaged*, generator tidak menyuplai *electrical system*, dan *bleed monitoring computer (BMC) error*.



Gambar 3. FTA Faktor Kegagalan Pada Sistem Distribusi *Electrical*

Kegagalan pada sistem distribusi *electrical* yang diakibatkan karena *bleed monitoring computer* (BMC) mengalami error dapat diakibatkan karena *connector fault* dan *control logic fault*. Dalam mengidentifikasi kegagalan pada *bleed air leak detection system* hasil akan didapatkan setelah menentukan minimum cut set pada fault tree analysis akan dijelaskan pada gambar 4 dan tabel 1. Berdasarkan hasil dari metode *Fault Tree Analysis* diperoleh 9 basic event yang dapat menyebabkan kegagalan pada *Bleed Air Leak Detection System*, yaitu *Electorstatic*, *Short Circuit*, *Lost Continuity*, *Connector Fault*, *Control Logic Fault*, *Thermistor Disconnected*, *Degradasi Prestasi*, *Dislokasi Komponen*, dan *Corrosion*.



Gambar 4 Minimum Cut Set Bleed Air Trip Detection System

Tabel 2. Minimum Cut Set Bleed Air Leak Detection System

NO.	KETERANGAN
1	<i>Bleed Air Leak Detection System</i> tidak dapat mendeteksi kebocoran pada <i>Bleed Air Duct</i>
2	Kegagalan tidak dapat dideteksi
3	Kebocoran tidak dapat dideteksi
4	<i>Wiring damaged</i>
5	Generator tidak menyuplai <i>Electrical System</i>
6	<i>Bleed Monitoring Computer (BMC) Error</i>
7	<i>Sensing Element Fault</i>
8	<i>Electrostatic</i>
9	<i>Short Circuit</i>
10	<i>Lost Continuity</i>
11	<i>Connector Fault</i>
12	<i>Control Logic Fault</i>
13	<i>Thermistor Disconnected</i>
14	Degradasi Prestasi
15	Dislokasi Komponen
16	<i>Corrosion</i>

Pada *Line Maintenance* Denpasar Batam Aero Technic, perawatan yang dilakukan pada komponen *Engine Bleed Air* 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 *Engine Bleed Air*.

1. Condition Directed (CD).

Tindakan ini untuk komponen *Engine Bleed Air* yang mempunyai tingkat resiko kegagalan yang tinggi maka kegagalan komponen dapat diantisipasi dengan memonitor dan mendeteksi awal kegagalan sehingga kegagalan dapat dicegah.

2. Failure Finding

Perawatan ini direkomendasikan dikarenakan kerusakan tidak dapat diprediksi diakibatkan oleh jumlah part hours dan *part cycle* yang berbeda beda pada komponen *Engine Bleed Air*. Perawatan pencegahan seperti fungsi tersembunyi (*hidden function*) secara periodik atau terjadwal sangat diperlukan untuk memastikan kapan suatu komponen akan mengalami kegagalan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dalam penelitian diatas dapat di simpulkan Penyebab *Engine Bleed Trip Off Light* menyala, yaitu akibat adanya kebocoran pada komponen PRSOV, HSV, PCCV dan BAR serta kegagalan komponen ACAU, Thermostat 450F dan PCCV sensor 390°F dalam mendeteksi sinyal melalui gerbang logika di pesawat Boeing 737 ER menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dan juga dengan metode FTA untuk memeriksa kebocoran pipa yang bisa dideteksi maupun tidak bisa di deteksi, diawali dengan menganalisis 2 faktor yang dapat menyebabkan *Bleed Air Detection System* tidak dapat mendeteksi kebocoran pipa pada *Bleed Air Duct* yaitu faktor kebocoran tidak dapat dideteksi dan faktor kegagalan pada sistem distribusi electrikal, sehingga diperoleh 9 basic event yang dapat menyebabkan kegagalan pada *Bleed Air Detection System* yaitu *Electrostatic*, *Short Circuit*, *Lost Continuity*, *Connector Fault*, *Control Logic Fault*, *Thermistor Disconnected*, Degradasi Prestasi, Dislokasi Komponen, dan *Corrosion*. Rekomendasi perawatan preventive yang dianjurkan untuk merawat komponen tersebut adalah *Condition Directed* dan *Failure Finding*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Parr, A, 201, *Hydraulics and Pneumatics A technician's and engineer's guide* Second edition, Elsevier Ltd. All rights reserved.
- [2] Rahmayudha, Y.E., Sunarto, Abas, 2019, *Studi Kasus Kerusakan Bleed Air Regulator Pada pesawat Boeing 737NG*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, 972-977.
- [3] Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Knezevic, J., Ait-Kadi, D., & Raouf, A. (2009). Handbook of maintenance management and engineering. In *Handbook of Maintenance flow Management and Engineering Service*. Springer London .<https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>.
- [4] Sallem Soumaya, Sommervogel Laurent, Olivas Marc, Peltier Arnaut, (2019), “*Method and Device for Hot Air leak Detection in aircraft Installation by Wire Diagnosis*”. 978-1-5090-0790-IEEE, France.
- [5] [737 Next Generation Design Highlights \(boeing.com\)](https://www.boeing.com), diakses tahun 2024
- [6] Boeing 737-800/900 ER, *System Schematic Manual* ATA Chapter 36-11-11, 2024
- [7] Batam Aero Technic, “*Batam Aero Technic E-MRO*”. Diakses dari <https://emro.batamaerotechnic.com/emro/> , 2024.