

Analisis Kerusakan APU *Fuel System* Pada Pesawat B737-500 Dengan Metode *Fault Tree Analysis*

A Pambekti^{1*}, R Kurniawan¹, A Prakoso¹, C S Budiono¹, I Lukito¹, H M Arazi¹

¹Program Studi Aeronautika, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

*Email korespondensi : arif.pambekti@gmail.com

Received Feb 15, 2022; Accepted Feb 24, 2022; Published Mar 8, 2022

Abstrak. APU *Fuel System* merupakan sistem bahan bakar APU yang secara otomatis memonitor laju aliran bahan bakar untuk menjaga APU pada kecepatan konstan untuk kondisi yang berbeda. Sistem APU *Fuel System* terpenting pada pesawat saat terbang guna mendistribusi *fuel* selama melakukan penerbangan. Dalam penelitian ini, metode observasi langsung dan metode *fault tree analysis* digunakan untuk mengamati dan menganalisis penyebab kegagalan dari APU *Fuel System* Boeing 737-500 Sriwijaya Air. Hasil dari penelitian tentang permasalahan APU *Fuel System* Boeing 737-500 Sriwijaya Air adalah terjadi permasalahan pada *Fuel Control Unit* dengan 14 *basic event*.

Kata Kunci: APU Fuel System, fault tree analysis, Boeing 737-500

1. Pendahuluan

Pesawat udara merupakan salah satu alat transportasi udara yang berkembang pesat dari tahun ke tahunnya. Bahkan hingga saat ini, pesawat udara masih dapat dikatakan sebagai salah satu alat transportasi yang paling banyak digunakan untuk mengangkut penumpang maupun kargo dikarenakan dapat mempersingkat waktu. Oleh karena itu perawatan pesawat sangatlah diutamakan, perawatan pesawat itu sendiri harus diperhatikan secara serius mulai dari perawatan yang terjadwal maupun tidak terjadwal. Perawatan pesawat harus rutin dilakukan dalam jangka waktu tertentu. Pemeriksaan secara rutin dilakukan sebelum melakukan penerbangan dan sesudah melakukan penerbangan agar pesawat selalu dalam kondisi layak.

Perawatan pada pesawat dilakukan secara berkala agar pesawat saat terbang dalam kondisi yang sangat baik dikarenakan setiap komponen yang berada didalam pesawat harus sangat terjaga, sehingga pesawat ketika memasuki jadwal *maintenance* maka setiap pemeriksaan pesawat dilakukan ke komponen yang sudah habis batas waktunya. Oleh karena itu, kegiatan perawatan dan perbaikan pesawat udara sangat dibutuhkan untuk menjaga keselamatan para penumpangnya dan bisa membuat pesawat udara beroperasi dengan baik pada saat *Take off* dan *Landing*. Salah satu sistem yang berada pada pesawat Boeing 737-500 adalah *Auxiliary Power Unit* yang berperan cukup besar pada pengoperasian pesawat, fungsinya ialah memberikan power untuk starting engine utama pesawat. Seperti terjadinya apabila ada kerusakan pada *Fuel Control Unit* yang merupakan bagian dari *Auxiliary Power Unit* akan memengaruhi kinerja dari sistem tersebut [1].

Salah satu sistem yang ada di Pesawat Boeing 737-500 adalah *Fuel Control Unit* yang berfungsi untuk menyuplai bahan bakar. Komponen ini berperan penting karena dapat mengatur jumlah bahan bakar yang akan masuk ke dalam *combustion chamber* [2]. Jumlah bahan bakar yang akan masuk disesuaikan jumlah udara yang masuk ke dalam *combustion chamber*. Peneliti menemukan masalah yang terjadi

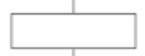
pada *Fuel Control Unit* ditemukan kebocoran yang menyebabkan fuel tidak mendistribusi dengan baik. Dan ditemukan oil filter yang mengalami kerusakan. Melihat permasalahan itu, maka penulis akan melakukan penelitian dengan menggunakan metode *fault tree analysis* karena memudahkan penulis dalam menentukan sebuah permasalahan.

2. Metode Penelitian

Fault tree analysis (FTA) merupakan metode atau teknik yang digunakan untuk mencari akar permasalahan dari sebuah permasalahan. FTA sendiri merupakan salah satu manajemen resiko, metode yang digunakan dengan cara yaitu mencari sebuah permasalahan yang terjadi untuk menghadapi kegagalan. Tujuan dari metode ini yaitu dapat menentukan faktor penyebab yang kemungkinan besar menimbulkan kegagalan dan menginvestigasi suatu kegagalan.

Metode FTA berdasarkan diagram logis, mengungkapkan hubungan peristiwa dasar dan peristiwa puncak melalui gerbang logis dan mampu memberikan analisis kuantitatif dan kualitatif. Pada penelitian ini FTA digunakan untuk mencari sumber gagal pada sistem *fuel system* yang mana pada kegagalan ini terdapat kerusakan pada valve yang mengalami *broken* akibat udara panas yang dialirkan dari engine [3]. Simbol dalam *fault tree analysis* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Simbol *fault tree analysis*

Simbol	Keterangan
	<i>Top event</i>
	<i>Intermediate event</i>
	<i>Undeveloped event</i>
	<i>Basic event</i>
	<i>Logic event AND</i>
	<i>Logic event OR</i>

Minimum cut set merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai Aljabar Boolean. Aljabar Boolean merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian logika yang lebih sederhana [4].

Metode cut set adalah sebuah metode untuk mengetahui daftar peristiwa kegagalan yang terjadi kemudian pada peristiwa puncak. Sedangkan minimum cut sets adalah daftar kondisi-kondisi minimal yang cukup dan perlu untuk peristiwa kejadian puncak. Sebuah *fault tree* memberikan informasi yang berharga tentang berbagai kombinasi dari *fault event* yang mengarah pada *critical failure system*. Kombinasi dari berbagai fault event disebut dengan cut set. Pada terminologi fault tree, sebuah cut set didefinisikan sebagai basic event yang bila terjadi (secara simultan) akan mengakibatkan terjadinya *TOP Event*. Sebuah *Cut Set* dikatakan sebagai minimal cut set jika *Cut Set* tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan statusnya sebagai *cut set*.

3. Hasil dan Pembahasan

Hipotesa ini dibuat berdasarkan dugaan penulis yang dilandasi dengan observasi dan memonitor langsung kegagalan yang terjadi pada APU *Fuel System* di pesawat Boeing 737-500. Dari analisis kegagalan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kegagalan terjadi pada *Fuel Indicator* dan APU *Fuel Distribution*.

Analisa kegagalan ini dihubungkan dalam gerbang *logic* OR, artinya saat salah satu komponen tersebut gagal, maka hal tersebut berpengaruh pada APU Fuel System. Lalu pada Fuel Indicator kegagalan diakibatkan oleh Fuel Quality Indicator Fault dan Fuel Quantity Sensor Fault. Kemudian pada APU Fuel Distribution Fault dapat diakibatkan oleh 5 kejadian yaitu filter problem, boost pump failure, fuel control unit fault, fuel noozle problem, dan valve failure yang mengakibatkan APU Fuel Distribution tidak berfungsi dengan normal. Penjelasan di atas ditampilkan dalam bentuk tabel fault analysis Boeing 737-500 pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Fault Analysis Boeing 737-500

Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Gat e	Keterangan
Fuel Distribution Fault (1)	Fuel Indicator Fault (2) APU Fuel Distribution Fault (3)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka dapat menimbulkan trouble pada Fuel Distribution Fault..
Fuel Indicator Fault (2)	Fuel Quantity Indicator Fault (4) Fuel Quantity Sensor Fault (5)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka dapat menimbulkan trouble pada Fuel Indicator.
APU Fuel Distribution Fault (3)	Filter Problem (6) Boost Pump Failure (7) Fuel Control Unit Fault (8) Fuel Noozle Problem (9) Valve Failure (10)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka dapat menimbulkan trouble pada komponen APU Fuel Distribution.

Kemudian kegagalan pada Fuel Quality Indicator dapat disebabkan oleh 2 kejadian yaitu No Electrical Source dan Electrical Connector Problem yang menyebabkan Fuel indicator tidak muncul. Lalu untuk kegagalan pada Fuel Quantity Sensor dapat diakibatkan oleh Broken Capasitor dan Adapter Assembly Tank Problem yang menyebabkan Fuel Quantity Sensor tidak dapat muncul.

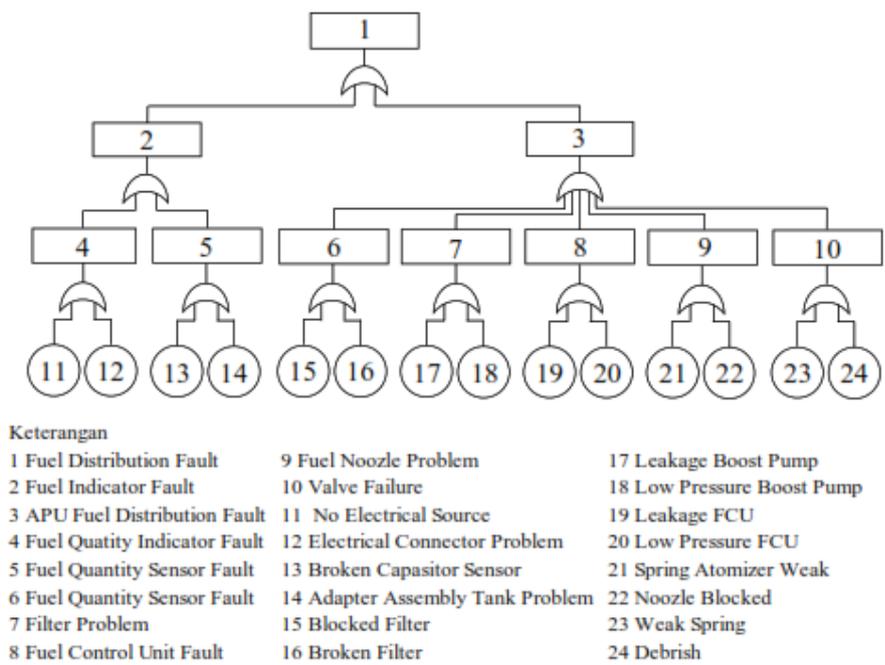
Selanjutnya pada filter didapati kegagalan karena blocked dan broken yang mengakibatkan filter tidak dapat menyaring fuel dengan baik. Didapatkan juga adanya kegagalan pada boost pump yang diakibatkan leakage boost pump dan low pressure boost pump yang mengakibatkan boost pump tidak dapat memompa fuel dengan baik. Selanjutnya, fuel control unit dapat mengalami kesalahan yang diakibatkan oleh leakage FCU dan juga low pressure FCU yang mengakibatkan FCU tidak dapat menyuplai fuel dengan baik. Kemudian juga ditemukan permasalahan pada fuel noozle yang diakibatkan oleh spring atomize weak dan noozle blocked yang membuat tidak bisa menyalurkan fuel ke tempat sistem pembakaran. Kemudian adanya kegagalan pada valve failure dapat disebabkan oleh 2 kejadian yaitu weak spring dan debris yang menyebabkan tidak bisa menyuplai fuel dengan baik. Adapun penjelasan diatas ditampilkan dalam bentuk Tabel 3 fault analysis Boeing 737-500 sebagai berikut.

Tabel 3. Fault analysis Boeing 737-500

Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Gate	Keterangan
Fuel Quatity Indicator Fault (4)	No Electrical Source (11) Electrical Connector Problem (12)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka terjadi masalah pada Fuel Indicator yang dapat menyebabkan indikator tidak muncul
Fuel Quantity Sensor Fault (5)	Broken Capasitor (13) Adapter Assembly Tank Problem (14)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka terjadi masalah pada Fuel Quantity Sensor yang dapat menyebabkan indikator tidak muncul
Filter Problem (6)	Blocked Filter (15) Broken Filter (16)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka filter tidak dapat menyaring fuel dengan baik

<i>Boost Pump Failure</i> (7)	<i>Leakage Boost Pump</i> (17) <i>Low Pressure Boost Pump</i> (18)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka <i>Boost Pump</i> tidak dapat memompa <i>fuel</i> dengan baik
<i>Fuel Control Unit Fault</i> (8)	<i>Leakage FCU</i> (19) <i>Low Pressure FCU</i> (20)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka <i>FCU</i> tidak bisa menyuplai <i>fuel</i> dengan baik
<i>Fuel Noozle Problem</i> (9)	<i>Spring Atomizer Weak</i> (21) <i>Noozle Blocked</i> (22)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka <i>fuel noozle</i> tidak bisa menyalurkan <i>fuel</i> ke sistem pembakaran
<i>Valve Failure</i> (10)	<i>Weak Spring</i> (23) <i>Debrish</i> (24)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi maka <i>valve</i> tidak bisa menyuplai <i>fuel</i> dengan baik

Dari penjelasan kedua tabel diatas, didapatkan rancangan *fault tree analysis* APU *Fuel System* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Fault Tree Analysis* (FTA) APU *Fuel System*

Setelah membuat FTA pada gambar di atas, kemudian dilakukan langkah selanjutnya yaitu menentukan *minimum cut set* (MCS) pada APU *Fuel System*. *Minimum cut set* APU *Fuel System* ini dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Top Event (1)} &= 2+3 \\
 &= (4+5)+(6+7+8+9+10) \\
 &= ((11+12)+(13+14))+((15+16)+(17+18)+(19+20)+(21+22)+(23+24)) \\
 &= 11+12+13+14+15+16+17+18+19+20+21+22+23+24
 \end{aligned}$$

Dari hasil *minimum cut set* di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat 14 *basic event* yang dapat menimbulkan terjadinya *top event*. Berikut ini adalah *basic event* yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem pendeteksian asap yaitu sebagai berikut :

1. Kode 11
Kondisi *No Electrical Source* menyebabkan tidak adanya arus listrik
2. Kode 12

- Kondisi *Electrical Connector Problem* menyebabkan arus listrik tidak disalurkan dengan baik.
3. Kode 13
Kondisi *Broken Capacitor Sensor* menyebabkan sensor tidak dapat berfungsi untuk mengukur fuel quantity.
 4. Kode 14
Kondisi *Adapter Assembly Tank Problem* menyebabkan tidak adanya nilai kapasitor yang diteruskan ke indicator.
 5. Kode 15
Kondisi *Blocked Filter* menyebabkan fuel tidak berjalan atau tersumbat.
 6. Kode 16
Kondisi *Broken Filter* menyebabkan fuel tidak berjalan atau rusak.
 7. Kode 17
Kondisi *Leakage Boost Pump* menyebabkan pompa tidak berfungsi dengan optimal.
 8. Kode 18
Kondisi *Low Pressure Boost Pump* menyebabkan tekanan pada fuel berkurang.
 9. Kode 19
Kondisi *Leakage Fuel Control Unit* menyebabkan gasket mengalami broken.
 10. Kode 20
Kondisi *Low Pressure Fuel Control unit* Menyebabkan filter mengalami penyumbatan.
 11. Kode 21
Kondisi *Spring Atomizer Weak* menyebabkan alat penyemprot fuel mengalami kelemahan.
 12. Kode 22
Kondisi *Nozzle Broken* menyebabkan nozzle tersumbat oleh karbon
 13. Kode 23
Kondisi *Weak Spring* menyebabkan valve tidak bekerja dengan optimal
 14. Kode 24
Kondisi *Debrish* menyebabkan Valve mengalami *Stuck close* yang menyebabkan fuel tersumbat.

4. Kesimpulan

Dengan menggunakan metode *fault tree analysis*, maka didapatkan penyebab-penyebab kegagalan pada gasket *Fuel Control Unit* dan *Oil Filter* Boeing 737-500 Sriwijaya Air di *Line Maintenance* Bandar Udara Soekarno Hatta Cengkareng Tangerang. Didapatkan dari hasil *Minimum Cut Set* yang berjumlah 14 *basic event*, ke 14 *basic event* itu adalah *No Electrical Source* (11), *Electrical Connector Problem* (12), *Broken Capacitor Sensor* (13), *Adapter Assembly Tank Problem* (14), *blocked* (15), *broken* (16), *leakage boost pump* (17), *low pressure boost pump* (18), *leakage fcu* (19), *low pressure fcu* (20), *spring atomizer weak* (21), *nozzle blocked* (22), *weak spring* (23), dan *debrish* (24) yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada Top Event (TE) APU *Fuel Distribution Fault*.

5. Daftar Pustaka

- [1] Amin S. 2020 *Design and Hil- based verification of the Fuel Control Unit for a gas turbin (Journal of Aerospace Engineering)* volume 234 pp 1460-1470
- [2] Asano dkk 2008 *Air amount computing unit and Fuel Control Unit of internal combustion engine (Patent Application Publication)*
- [3] Gachlou dkk 2019 *Comprehensive risk assessment of river basins using Fault Tree Analysis (Journal of Hydrologi)* volume 577
- [4] Widjanarka 2006 *Wijaya Teknik Digital* (Erlangga)

