

Analisis Kegagalan Fungsi Traffic Alert and Collision Avoidance System Boeing 737-800 Next Garuda Indonesia dan Identifikasi Penyebab Kegagalan Dengan Metode Fault Tree

I Lukito^{1*}, C S Budiono¹, A Pambekti¹, R Kurniawan¹, A Prakoso¹, F Mizan¹

¹Program Studi Aeronautika Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

*Email korespondensi : indrolukito1969@gmail.com

Received Feb 15, 2022; Accepted Feb 22, 2022; Published Mar 8, 2022

Abstrak. Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS) pada pesawat Boeing 737-800 NG memiliki fungsi utama untuk menghindari dan memberi peringatan dari suatu potensi tabrakan antar pesawat di udara. Dengan menganalisis berbagai input dari sinyal balasan pesawat lain dan kemudian memberikan peringatan visual dan/atau aural kepada crew berdasarkan perintah TA maupun TA/RA yang dipilih. Dengan demikian crew bisa mengambil suatu tindakan sehingga potensi kecelakaan bisa dihindari. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk penelitian adalah dengan melakukan observasi langsung dan melakukan penanganan kegagalan kerusakan pesawat Boeing 737-800 NG Garuda Indonesia di Hanggar 2 PT. GMF AeroAsia. Selain itu dilakukan analisis kegagalan pesawat dengan menggunakan metode fault tree analysis. Hasil troubleshooting dan fault tree analysis ditemukan kegagalan pada TCAS antenna, coaxial cable dan REU yang berpengaruh pada navigasi pesawat. Proses troubleshooting TCAS mengacu pada FIM Boeing 737-800 NG chapter 34-45 task 803 dan 804 dan juga FIM B737-800 NG chapter 23-51 task 803.

Kata kunci: *Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS), lightning strike, TCAS Antenna.*

1. Pendahuluan

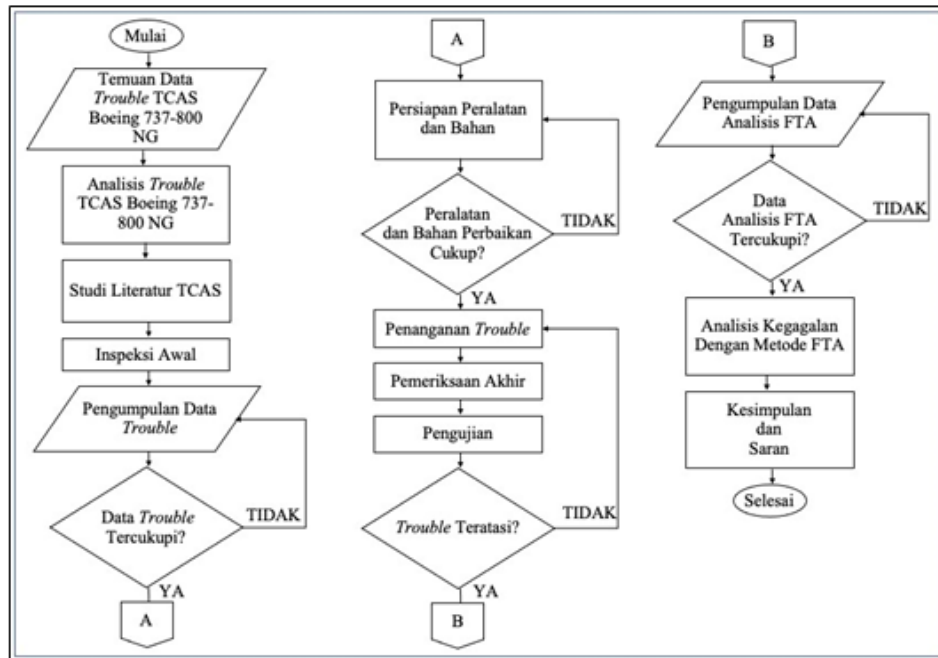
Sistem navigasi pada pesawat diperlukan agar pesawat terhindar dari kejadian *catastrophe* di atas langit. Sehingga pada pertengahan tahun 1950 dikembangkan suatu konsep teknologi agar bisa menghindari tabrakan antar pesawat di udara. Konsep ini disebut dengan *Airborne Collision Avoidance System (ACAS)* kemudian dapat diwujudkan pada sistem *Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)* yang sekarang ini banyak digunakan di pesawat modern seperti Boeing 737-800 NG.

TCAS adalah sistem pemantauan otomatis yang membantu kru dan ATC untuk mempertahankan *safe separation* pesawat. TCAS ini adalah sistem *airborne* berdasarkan *secondary radar* yang dapat langsung mengintrogasi dan menjawab antara dua pesawat melalui *high-integrity data link*. Sistem ini berfungsi secara independen dari *ground station*, dan dapat memberi peringatan kepada kru jika ada pesawat lain (target) mendekati dengan estimasi waktu yang telah dikalkulasi dan bisa menimbulkan potensi tabrakan [1].

Pada observasi yang penulis lakukan di Hanggar 2 PT. GMF AeroAsia terdapat pesawat Boeing 737-800 NG yang sedang dilakukan *unscheduled maintenance* karena mengalami kegagalan pada sistem TCAS berdasarkan data AFL dari kru. Maka dari itu pesawat ini harus segera dilakukan

penanganan masalah yang terjadi, sehingga sistem TCAS dapat beroperasi secara normal kembali. Karena sistem TCAS ini sangat diperlukan dalam suatu penerbangan untuk menghindari potensi tabrakan di udara terutama di area yang memiliki *traffic* pesawat yang padat.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Langkah-langkah penelitian sesuai diagram alur penelitian di atas sebagai berikut:

1. Temuan Data *Trouble* TCAS Pesawat Boeing 737-800 NG
 Pada langkah ini diterima temuan *trouble* TCAS berupa kegagalan *bottom antenna* TCAS, *top antenna* TCAS dan *coaxial cable*, dan juga REU. Dalam menemukan *trouble* TCAS dapat diketahui melalui laporan yang ditemukan oleh teknisi berdasarkan data *Aircraft Flight Logbook* (AFL).
2. Analisis *Trouble* TCAS Pesawat Boeing 737-800 NG
 Dari temuan *trouble* TCAS, kemudian dilakukan analisis berupa memahami sistem yang berkaitan dengan TCAS yang mengalami *trouble*. Pada kasus ini dilakukan analisis mengenai TCAS khususnya pada bagian *antenna* TCAS dan REU. Setelah itu dilakukan analisis mengenai penyebab terjadinya kegagalan pada komponen tersebut.
3. Studi Literatur TCAS
 Studi literatur berguna untuk mengetahui penelitian-penelitian yang telah dilakukan maupun pengembangan dari penelitian terdahulu. Materi yang harus dipahami oleh peneliti adalah mengenai sistem TCAS pada pesawat Boeing 737-800 NG. Studi literatur dapat dilakukan melalui tiga cara yaitu: referensi beberapa jurnal, manual-manual perawatan pesawat, dan wawancara narasumber yang berkompeten.
4. Inspeksi Awal
 Pada langkah ini dilakukan inspeksi pada sistem TCAS pesawat yang mengalami *trouble* berdasar hasil pengecekan visual dan TCAS *operational test*. Kemudian dari hasil inspeksi awal ini ditemukan kegagalan pada TCAS, apa saja penyebab terjadinya kegagalan pada TCAS, dan bagaimana proses penanganan kegagalan TCAS yang akan dilakukan.
5. Pengumpulan Data *Trouble*
 Pada langkah ini dilakukan pengumpulan data referensi perawatan pesawat berupa FIM, AMM, WDM, SWPM dan MEL. Selain itu juga dilakukan pengumpulan laporan mengenai *trouble* TCAS *failure* yang dialami pesawat melalui *Aircraft Flight Logbook* (AFL).
6. Persiapan Peralatan dan Bahan
 Setelah data cukup, kemudian dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk

memperbaiki *trouble TCAS failure*. Ketika peralatan dan bahan sudah cukup maka dapat dilakukan proses *troubleshooting* pada komponen *bottom antenna TCAS*, *top antenna TCAS* dan *coaxial cable*, dan juga REU.

7. Penanganan *Trouble*
Pada tahap ini dilaksanakan poses *troubleshooting TCAS failure* pada pesawat Boeing 737-800 NG. Proses *troubleshooting* dilaksanakan berdasarkan referensi perawatan pesawat yang berlaku seperti FIM, AMM, WDM, SWPM dan MEL.
8. Pemeriksaan Akhir
Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan akhir komponen TCAS sebelum dilakukan tahap pengujian. Kemudian memastikan setiap komponen yang terpasang pada TCAS sudah siap untuk diuji.
9. Pengujian
Setelah dilakukan pemeriksaan akhir pada komponen *antenna TCAS* dan REU maka tahapan selanjutnya adalah pengujian dengan cara melakukan *operational test* pada sistem TCAS. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem TCAS beroperasi kembali dengan normal.
10. *Trouble* Teratasi
Ketika masalah sistem TCAS sudah dapat teratasi dan komponen telah kembali ke kondisi *serviceable* maka pesawat dapat beroperasi kembali. Namun apabila masalah pada sistem TCAS belum teratasi maka dapat dilakukan ke tahap penanganan *trouble TCAS* hingga masalah berhasil teratasi.
11. Pengumpulan data *Fault Tree Analysis*
Pada tahapan ini penulis melakukan pengumpulan data *Fault Tree Analysis* sistem TCAS untuk mencari akar permasalahan yang terdapat pada sistem TCAS.
12. Analisis kegagalan dengan metode *Fault Tree Analysis*
Metode fault tree analysis ini efektif dalam menemukan inti permasalahan karena memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan atau kerugian yang ditimbulkan tidak berasal dari pada satu titik kegagalan. *Fault Tree Analysis* mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan yang melibatkan gerbang logika sederhana [2]. *Minimum cut set* pada *fault tree* adalah kumpulan *basic event* yang kemunculannya akan dapat menyebabkan peristiwa kejadian puncak terjadi. Sebuah *cut set* disebut *minimum cut set* ketika ada *basic event* yang dihapus dari set, kejadian yang tersisa secara kolektif tidak sepanjang *cut set*. Selain itu *minimum cut set* dapat mempermudah seseorang untuk membaca data [3].
13. Kesimpulan dan Saran
Kesimpulan dan saran merupakan tahapan akhir dalam penyusunan tugas akhir ini yang bertujuan untuk menarik garis besar dari hasil dan pembahasan *trouble* sistem TCAS serta saran yang diberikan dalam penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Proses *troubleshooting* pada kegagalan *sistem TCAS* dilakukan oleh penulis berdasarkan FIM B737-800 NG *chapter 34-45* dan *chapter 23-51* kemudian juga berdasarkan AMM B737-800 NG *chapter 34-45* dan *chapter 23-51*. Kemudian dilakukan analisa menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) dengan menentukan beberapa kemungkinan penyebab kegagalan yang mungkin terjadi.

Pada tahap ini penulis membuat hipotesa atau dugaan tentang analisis kegagalan yang dimungkinkan muncul pada *sistem TCAS*. Hipotesa ini dibuat berdasarkan dugaan penulis yang dilandasi dengan observasi dan memonitor langsung kegagalan yang terjadi pada *bottom antenna*, *top antenna TCAS* dan REU di pesawat Boeing 737-800 NG dengan registrasi PK-Gxx. Dari hipotesa awal yang penulis lakukan, terdapat beberapa kondisi kegagalan yaitu:

1. Kegagalan Pada *Bottom Antenna TCAS*
Berdasarkan dari hasil wawancara dengan *inspector* di Hanggar 2 GMF dan analisis FIM B737-800NG *chapter 34-45 task 804*, didapatkan keterangan bahwa terdapat kemungkinan kegagalan pada *bottom antenna TCAS*. *Bottom antenna TCAS* ini mengalami kegagalan untuk melakukan transmit atau *receive* dengan pesawat sekitar. Kemungkinan penyebab kegagalan pada *bottom antenna TCAS* bisa disebabkan oleh FOD yang mengenai *antenna* ataupun *konektor* yang mengalami kerusakan.
2. Kegagalan Pada *Top Antenna TCAS* dan *Coaxial Cable*
Berdasarkan dari hasil wawancara dengan *inspector* di Hanggar 2 GMF dan analisis FIM B737-

800 NG *chapter 34-45 task 803* kegagalan yang bisa terjadi pada *top antenna* TCAS yaitu adanya kegagalan pada komponen *top antenna* TCAS dan *coaxial cable antenna*. *Top antenna* TCAS dan *coaxial cable antenna* yang tidak berfungsi menyebabkan kegagalan untuk melakukan transmit atau *receive* dengan pesawat sekitar dan juga transmisi data antara *antenna* TCAS dengan TCAS *computer* terganggu. Kemungkinan penyebab kegagalan pada *top antenna* TCAS bisa disebabkan oleh sambaran petir yang mengenai *antenna* ataupun *konektor* yang mengalami kerusakan.

3. Kegagalan Pada REU

Berdasarkan dari hasil wawancara dengan *inspector* di Hanggar 2 GMF dan analisis FIM B737-800 NG *chapter 23-51*, kegagalan fungsi juga bisa disebabkan oleh REU sehingga tidak bisa memberikan peringatan *aural* kepada *crew* ketika TCAS mendeteksi pesawat lain yang berpotensi terjadinya tabrakan di udara. Kemungkinan penyebab kegagalan pada REU bisa disebabkan oleh konektor dan *modul* konektor yang rusak, dan *no electrical power*. Dari analisis kegagalan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kegagalan sistem TCAS terjadi apabila terdapat suatu kegagalan pada komponen TCAS dan mendapatkan *distraction* berupa sambaran petir dan komponen yang terkena FOD. Analisa kegagalan ini dihubungkan dalam *logic gate* OR, yang artinya ketika salah satu komponen tersebut mengalami kegagalan maka hal tersebut berpengaruh pada kegagalan sistem TCAS. Kondisi kegagalan yang diakibatkan oleh kegagalan komponen TCAS terdapat beberapa kejadian yaitu TCAS *antenna fault* atau *electronic component fault* yang dapat mengakibatkan TCAS tidak dapat memberikan data dari pesawat lain. Selanjutnya kegagalan yang diakibatkan oleh TCAS *antenna fault* terdapat beberapa kejadian yaitu *top antenna fault* atau *bottom antenna fault* yang dapat mengakibatkan *antenna* TCAS tidak dapat *transmitt* dan *receive* data dengan pesawat lain. Kemudian dari kondisi kegagalan yang diakibatkan *electronic component fault* terdapat beberapa kejadian yaitu REU *fault* atau *cockpit speaker fault* yang dapat mengakibatkan komponen elektronik yang berhubungan dengan TCAS tidak bisa memberikan *output* yang telah diberikan oleh TCAS. Penjelasan tersebut ditampilkan dalam tabel *fault analysis* TCAS Boeing 737-800 NG (part 1) pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. *Fault tree analysis* TCAS Boeing 737-800 NG (part 1)

No	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Gate	Keterangan	Reference
1	TCAS Fault System (1)	a. TCAS Component Fault (2)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka sistem TCAS akan mengalami kegagalan	FIM & Inspector Hanggar 2 GMF
		b. Distraction (3)			
2	TCAS Component Fault (2)	a. TCAS Antenna Fault (4)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka TCAS tidak dapat memberikan data dari pesawat lain	FIM & Inspector Hanggar 2 GMF
		b. Electronic Component Fault (5)			
3	Distraction (3)	a. Lightning Strike (6)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka bisa merusak komponen TCAS sehingga mengganggu kinerja TCAS	FIM & Inspector Hanggar 2 GMF
		b. Foreign Object Damage/FOD (7)			
4	TCAS Antenna Fault (4)	a. Top Antenna Fault (8)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi, maka antenna TCAS tidak dapat transmit & receive data dengan pesawat lain	FIM & Inspector Hanggar 2 GMF
		b. Bottom Antenna Fault (9)			
5	Electronic Component Fault (5)	a. REU Fault (10)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka komponen elektronik yang berhubungan dengan TCAS tidak dapat memberikan output	FIM & Inspector Hanggar 2 GMF
		b. Cockpit Speaker Fault			

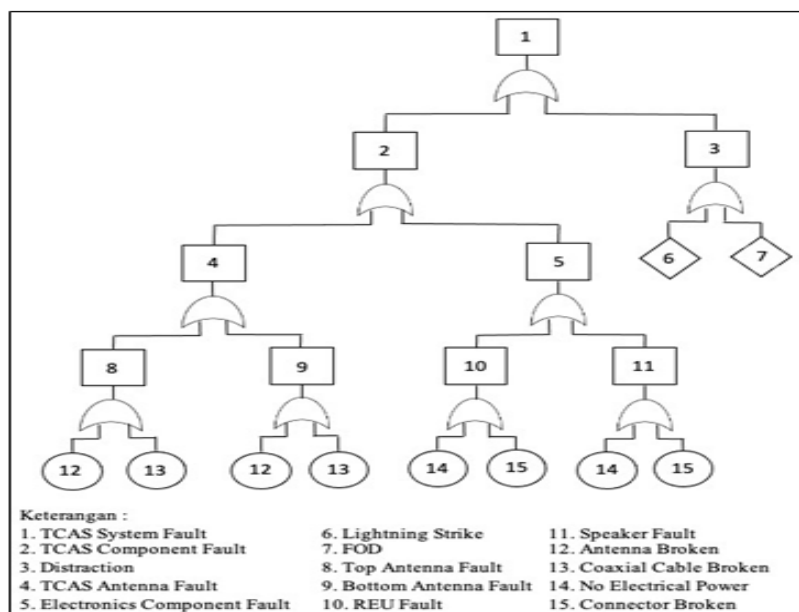
Lalu dari kondisi kegagalan *top antenna fault* pada TCAS *antenna fault* disebabkan oleh kerusakan pada *antenna* atau terdapat kerusakan pada *coaxial cable*, apabila kondisi kegagalan ini terjadi maka *top antenna* TCAS tidak dapat *transmitt* dan *receive* data dengan pesawat lain. Kemudian dari kondisi kegagalan *bottom antenna fault* pada TCAS *antenna fault* disebabkan oleh kerusakan pada *antenna* atau terdapat kerusakan pada *coaxial cable*, apabila kondisi kegagalan ini terjadi maka *bottom antenna* TCAS tidak dapat *transmitt* dan *receive* data dengan pesawat lain. Selanjutnya dari kondisi kegagalan REU *fault* pada *electronic component fault* disebabkan oleh kerusakan pada konektor atau tidak mendapatkan daya listrik dari pesawat, apabila kondisi kegagalan ini terjadi maka peringatan *aural* tidak berbunyi ketika TCAS memberikan *alert/warning*.

Dari kondisi kegagalan *cockpit speaker fault* pada *electronic component fault* disebabkan oleh kerusakan pada konektor atau tidak mendapatkan daya listrik dari pesawat, apabila kondisi kegagalan ini terjadi maka peringatan *aural* tidak berbunyi ketika TCAS memberikan *alert/warning*. Adapun penjelasan tersebut ditampilkan dalam tabel *fault tree analysis* TCAS Boeing 737-800 NG (part 2) pada Tabel 2 di halaman selanjutnya:

Tabel 2. *Fault tree analysis* TCAS Boeing 737-800 NG (part 2)

No	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Gate	Keterangan	Reference
1	Top Antenna Fault (8)	a. Antenna Broken (12)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka top antenna TCAS tidak dapat transmit & receive data dengan pesawat lain	FIM & Hanggar 2 GMF
		b. Coaxial Cable Broken (13)			
2	Bottom Antenna Fault (9)	a. Antenna Broken (12)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka bottom antenna TCAS tidak dapat transmit & receive data dengan pesawat lain	FIM & Hanggar 2 GMF
		b. Coaxial Cable Broken (13)			
3	REU Fault (10)	a. Connector Broken (14)	OR	Jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka peringatan aural tidak berbunyi ketika TCAS memberikan alert/warning	FIM & Hanggar 2 GMF
		b. No Electrical Power (15)			
4	Cockpit Speaker Fault (11)	a. Connector Broken (14)	OR	Jika salah satu penyebab kegagalan terjadi, maka peringatan aural tidak berbunyi ketika TCAS memberikan alert/warning	FIM & Hanggar 2 GMF
		b. No Electrical Power (15)			

Dari penjelasan kedua tabel tersebut, didapatkan rancangan *fault tree analysis* sistem TCAS yang ditunjukkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. *Fault tree analysis* TCAS

Setelah membuat FTA pada gambar di atas, kemudian melakukan langkah selanjutnya yaitu menentukan *minimum cut set* (MCS) pada sistem TCAS. *Minimum cut set* sistem TCAS ini dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Top Event (1)} &= 2 + 3 \\ &= \{(4 + 5) + (6 + 7)\} \\ &= \{((8 + 9) + (10 + 11)) + (6 + 7)\} \\ &= \{(((12 + 13) + (12 + 13))) + (((14 + 15) + (14 + 15))) + (6 + 7)\} \end{aligned}$$

Dari hasil *minimum cut set* di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat 4 *basic event* dan 2 *undeveloped event* yang dapat menimbulkan terjadinya *top event*. Berikut ini adalah *basic event* dan *undeveloped event* yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem TCAS yaitu sebagai berikut:

1. Kode 6 = *Lightning Strike*
Kondisi ini disebabkan karena komponen TCAS terkena sambaran petir ketika sedang *cruising*. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan parah pada komponen TCAS yaitu *antenna* yang berada di bagian atas dan bawah *fuselage*.
2. Kode 7 = FOD
Kondisi ini disebabkan karena *bottom antenna* TCAS terkena FOD ketika berada di *runway*. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada fisik *antenna* sehingga mempengaruhi proses *transmit* dan *receive* dengan pesawat sekitar.
3. Kode 12 = *Antenna Broken*
Kondisi ini disebabkan karena terjadi kerusakan pada *antenna* yang bisa disebabkan oleh berbagai faktor *eksternal* seperti terkena FOD atau tersambar petir. Hal ini dapat menyebabkan proses *transmit* dan *receive* dengan pesawat sekitar terganggu.
4. Kode 13 = *Coaxial Cable Broken*
Kondisi ini disebabkan karena terjadi kerusakan pada bagian *coaxial cable* sebagai efek domino dari *antenna* yang terkena FOD maupun sambaran petir. Hal ini dapat menyebabkan transmisi data antara *antenna* TCAS dengan TCAS *computer* terganggu karena terdapat gangguan elektrikal.
5. Kode 14 = *No Electrical Power*
Kondisi ini disebabkan karena pada komponen elektronik tidak mendapatkan suplai daya listrik dari pesawat. Hal ini dapat menyebabkan komponen elektronik tersebut terganggu kinerjanya bahkan tidak dapat beroperasi dengan normal.
6. Kode 15 = *Connector Broken*
Kondisi ini disebabkan karena terdapat kerusakan pada bagian konektor dari komponen elektronik. Hal ini dapat menyebabkan *input* data menuju komponen elektronik tersebut terganggu sehingga tidak bisa memberikan *output* yang diperintahkan.

4. Kesimpulan

Dengan menggunakan metode *fault tree analysis*, maka didapatkan penyebab-penyebab kegagalan pada sistem TCAS Boeing 737-800 NG Garuda Indonesia di Hanggar 2 PT. GMF AeroAsia yang berjumlah 2 *undeveloped event* dan 4 *basic event*. *Undeveloped event* dan *basic event* tersebut antara lain adalah *lightning strike* dan FOD yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen TCAS, selanjutnya *antenna broken* dan *coaxial cable broken* yang dapat menyebabkan kegagalan pada *antenna* TCAS, kemudian *connector broken* dan *no electrical power* yang dapat menyebabkan kegagalan pada komponen elektronik yaitu REU dan *cockpit speaker*.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. H. Tooley & D. Wyatt 2013 *Aircraft Communications and Navigation Systems* <https://doi.org/10.4324/9780080941523>
- [2] T. Ferdiana & I. Priadythama 2015 Analisis Defect Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) Berdasarkan Data Ground Finding Sheet (GFS) PT. GMF AEROASIA Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret
- [3] D. Kececioglu 2002 *Reliability Engineering Handbook* (USA : DEStech Publication, Inc.)