

Studi *Thrust Reverser Illuminate Problem* pada Pesawat Boeing 737 – NG dengan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis*

Suwendi*, Tri Susilo, Aprilia Sakti

Teknik Penerbangan Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
Jl. Protokol Halim Perdanakusuma Jakarta Timur 13610

* Corresponding Author : suwen.ndi@gmail.com

Abstrak – *Thrust reverser* adalah sistem pembalik gaya dorong, yang berfungsi pada proses pengereman saat pesawat terbang mendarat. Penelitian ini membahas mengenai *Thrust Reverser Illuminate Problem* pada Pesawat Boeing 737 – NG dengan sistem propulsinya berupa mesin jenis turbopan CFM 57 – 7 menggunakan Metode *Fault Tree Analysis (FTA)*. Hasil analisa kualitatif dengan top event yaitu *Thrust Reverser Illuminate Problem* adalah top event terjadi jika kejadian Kerusakan Relay, Internal Damage sync shaft, sync shaft Tersumbat, Lightning Strike, Kerusakan Proximity Sensor, Wire Failure, Switch Fails Opened, Loose Part, Parts Failure, Defective O-ring Packings, Defective rings, Improper Matching of Slide and Sleeve, Excessive clearance between slide and sleeve, Foreign material in internal passage, Leakage, Defective Spring, , Not Rigged Correctly at Installation sync shaft, Switch terbuka secara tidak tepat terjadi. Penyebabnya bisa salah satu dari kejadian tersebut, sehingga perbaikan dapat dilakukan secara terstruktur pada komponen tersebut. Hasil analisis kuantitatif adalah probabilitas munculnya kejadian *Thrust Reverser Illuminate Problem* sebesar 0,019734.

Kata Kunci: *Thrust Reverser CFM 56 – 7, Fault Tree Analysis (FTA), Aljabar Boolean.*

I. PENDAHULUAN

Engine adalah bagian pada pesawat terbang yang menghasilkan daya dorong (*thrust*) yang dihasilkan dari pemanfaatan udara dan pembakaran, selain *engine* berfungsi untuk menghasilkan daya dorong *engine* dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan pembalik daya dorong (*thrust reverser*) yang digunakan untuk pengereman saat mendarat (*landing*). Kondisi ideal terjadi jika *thrust reverser* bekerja dengan baik dan benar. Tapi akan ada kondisi dimana perangkat tersebut mengalami gangguan dan gagal bekerja dengan semestinya. Jika kondisi yang demikian terjadi, maka kehidupan manusia akan terganggu. Karenanya perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi kegagalan tersebut dengan mencari penyebabnya dan mengambil langkah perbaikan.

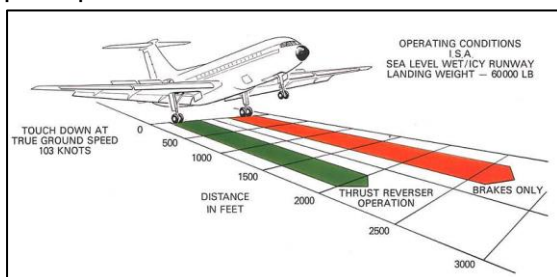
Kegagalan bekerja pada perangkat dapat terjadi karena tiga hal, yaitu faktor dari luar seperti bencana alam, faktor kesalahan manusia atau yang disebut juga *human error* dan faktor dari dalam perangkat sistem itu sendiri (kegagalan pada sistem dan komponen didalamnya). Untuk mengetahui penyebab kegagalan pada perangkat yang ada, salah satu metode yang sering digunakan adalah membangun *fault tree*. *Fault tree* dibangun untuk memperlihatkan secara jelas kejadian-kejadian gagal pada sistem dan hubungan diantaranya. Untuk membangun *fault tree* dimulai dari menentukan kejadian gagal yang menjadi penyebabnya, hingga didapat kegagalan-kegagalan lain yang sifatnya mendasar atau disebut juga *basic event* yang dapat menyebabkan *top event* terjadi. Setelah *fault tree* dibangun, kegagalan sistem akan dianalisis dengan aljabar Boolean

yang bersesuaian dengan bentuk *fault tree*-nya sehingga nantinya akan didapat beberapa *basic event* dan kombinasinya dimana jika *basic event* tersebut terjadi, maka *top event* juga terjadi. Himpunan *basic event* ini disebut *minimal cut set*. Analisis untuk mendapatkan kegagalan-kegagalan yang mengakibatkan *top event* disebut analisis kualitatif. Selain itu juga bisa dilakukan analisis kuantitatif yaitu untuk mendapatkan probabilitas terjadinya *top event*.

Pada analisis ini penulis membahas mengenai *thrust reverser illuminate problem* dikarenakan *problem* ini belum diketahui akar permasalahannya atau penyebab terjadinya *illuminate*, maka dari itu dalam tugas akhir ini penulis mencoba untuk menganalisis permasalahan yang terjadi pada *thrust reverser*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Thrust Reverser System pada sistem propulsi pesawat terbang berfungsi untuk mengurangi kecepatan pesawat pada saat melakukan pendaratan (*landing*), atau dengan kata lain berfungsi sebagai sistem pengereman. Prinsip kerja *thrust reverser system* beroperasi dengan cara membalikan (*reverser*) arah dari gaya dorong ke depan, sehingga memberikan dampak pengereman atau perlambatan pada pesawat tersebut.



Gambar diatas menunjukkan efektivitas proses pengereman pesawat dengan menggunakan *thrust reverser system* terhadap panjang landasan yang dibutuhkan. Secara teori *thrust reverser system* ini akan beroperasi pada saat

seluruh roda pesawat (*aircraft landing gear*) telah menyentuh landasan (*touch down to runway*) hingga mencapai kecepatan minimum [1] dan untuk selanjutnya setelah kondisi tersebut sistem pengereman dilanjutkan oleh *disk brake system*.

Aljabar Boolean

Aljabar Boolean merupakan aljabar yang berhubungan dengan variable – variable biner dan operasi – operasi *logic*. Dipelopori oleh George Boole pada abad ke-19. Definisi aljabar Boolean adalah misalkan B adalah himpunan yang didefinisikan pada dua operator biner (+) dan (\cdot), dan sebuah operator uner ($'$). Misalkan 0 dan 1 adalah dua elemen yang berbeda dari B. Maka, tupel $\langle B, +, \cdot, ', 0, 1 \rangle$ disebut aljabar Boolean jika berlaku aksioma identitas, komutatif, distributif dan, komplemen (sering dinamakan juga Postulat Huntington) Lipschutz dkk (1992).

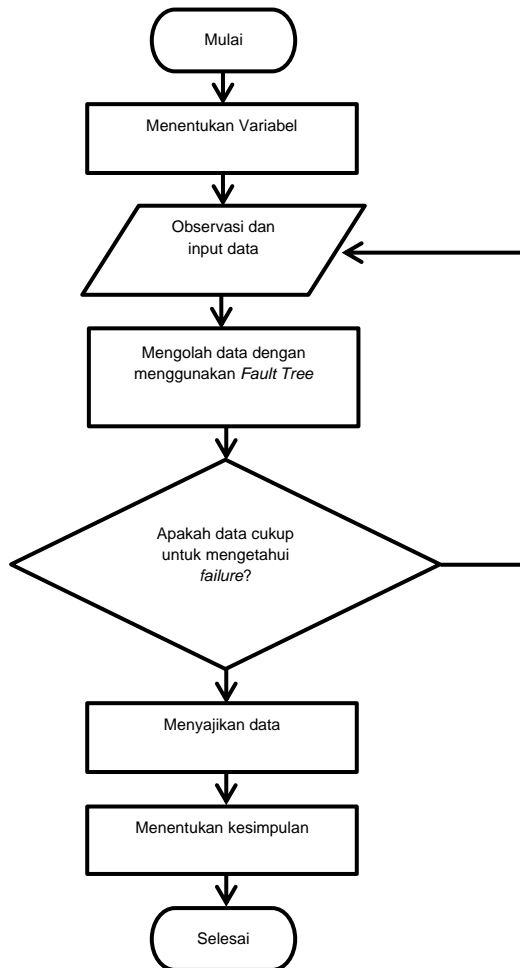
Teori Probabilitas

Probabilitas suatu peristiwa adalah harga numerik yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan bahwa peristiwa itu akan terjadi. Nilai probabilitas suatu peristiwa berada pada 0 sampai 1. Indeks numerik 0 akan mendefinisikan suatu kejadian yang tidak akan terjadi, sedang indeks numerik 1 akan mendefinisikan suatu kejadian yang pasti terjadi. Berikut diberikan definisi kejadian bebas, gabungan dan kondisional dari sumber [6].

III. METODE

Alur Penelitian

Proses penelitian ini ditunjukkan pada *flowchart* yang tersaji pada Gambar sebagai berikut :



Metode Fault Tree

Metode FTA sering digunakan untuk menganalisis kegagalan sistem. *Fault Tree Analysis (FTA)* adalah metode analisis dimana terdapat suatu kejadian yang tidak diinginkan disebut *undersired event* terjadi pada sistem, dan sistem tersebut kemudian dianalisis dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi yang mengarah pada terjadinya *undersired event* tersebut [4].

Dengan metode FTA ini, akan dapat diketahui kegagalan-kegagalan yang

menjadi penyebab terjadinya *undesired event*, dan probabilitas terjadinya *undesired event* tersebut. Mencari penyebab-penyebab *undesired event* adalah analisa secara kualitatif, dan mencari probabilitas adalah analisa secara kuantitatif. Dengan melakukan analisa kualitatif, maka dapat diketahui bagian mana dari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang. Analisa kuantitatif dilakukan untuk mengetahui berapa probabilitas terjadinya *undesired event*. Jika angka tersebut mendekati 1, maka sistem perlu diperbaiki atau dilakukan perawatan pada bagian-bagian yang gagal dari hasil analisa kualitatif. Dengan menurunkan angka probabilitas kegagalan-kegagalan tersebut, sistem yang didapat akan semakin baik.

Untuk menganalisa kegagalan sistem dengan metode FTA, perlu dibuat pohon kegagalan atau *fault tree* dari sistem yang dianalisa terlebih dahulu. *Fault tree* adalah model grafis dari kegagalan-kegagalan pada sistem dan kombinasinya yang menghasilkan terjadinya *undesired event* [4]. Kegagalan yang ada pada sistem bisa dikarenakan kegagalan pada komponennya, kegagalan pada manusia yang mengoperasikannya atau disebut juga *human error*, dan kejadian-kejadian di luar sistem yang dapat mengarah pada terjadinya *undesired event*.

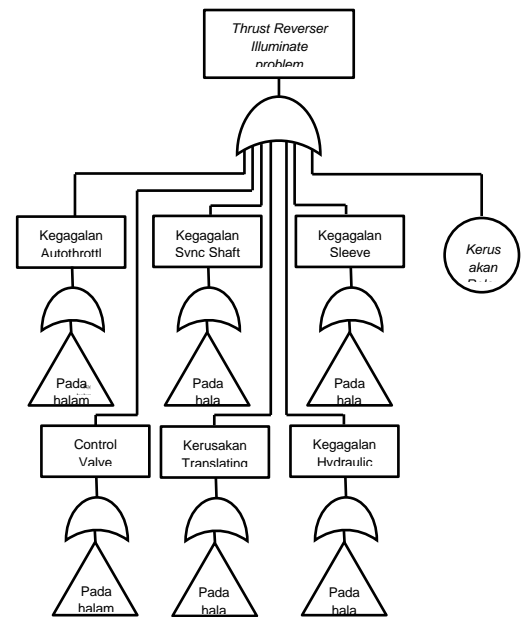
Fault tree dibangun berdasarkan pada salah satu *undesired event* yang dapat terjadi pada sistem. Hanya bagian-bagian tertentu dari sistem yang berhubungan beserta kegagalan-kegagalan yang ada, yang dipakai untuk membangun *fault tree*. Pada satu sistem bisa terdapat lebih dari satu *undesired event* dan masing-masing *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda yang disebabkan faktor-faktor atau bagian-bagian sistem dan

kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan lainnya. Pada fault tree, *undesired event* yang akan dianalisa disebut juga *top event*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jika *thrust reverser illuminate problem* dalam hal ini diindikasikan oleh *fault light* dan apabila *Fault light* pada panel menyala dan mengakibatkan *thrust reverse* tetap bekerja namun terindikasikan adanya kegagalan padahal sesuai kondisi awal *reverse thrust lever* digerakkan ke posisi mengaktifkan *thrust reverser*, berdasarkan data penelitian yang dimiliki yakni *defect report chapter 78* bisa disebabkan karena beberapa hal. penyebab indikator tersebut menyala adalah kerusakan pada komponen – komponen seperti, *Autothrottle Switch Pack, Actuator, Control Valve, Translating Sleeve, Sleeve lock Sensor, Sync Shaft, Wire Bundle Assy, Relay*.

Karena komponen – komponen tersebut diatas rusak dan menyebabkan indikator kegagalan (*fault light*) *thrust reverser* menyala, maka gerbang pertama yang dipakai mengarah langsung ke top event adalah gerbang OR (kegagalan sistem atau kegagalan komponen). Pada bagian ini kejadian komponen – komponen rusak dan menyebabkan *fault light* menyala bisa diselidiki lagi penyebabnya, sehingga kejadian tersebut bukan *basic event* kecuali kerusakan *Relay* yang merupakan *basic event*. Dengan demikian didapat kejadian yang mengarah pada *top event* dengan gerbang OR seperti pada gambar 4.2 *Fault tree Thrust Reverser Illuminate Problem*.



Minimal Cut Set

cut set adalah himpunan dari basic event dimana jika semua basic event tersebut muncul, akan terjadi top event. Minimal cut set adalah himpunan kombinasi terkecil dari basic event dimana jika basic event tersebut terjadi, akan menyebabkan top event terjadi [4].

Berikut ini akan dijelaskan mencari minimal cut set dengan menggunakan metode aljabar Boolean. Pada Gambar 4.17, simbol gerbang yang dipakai adalah gerbang OR. Gerbang OR adalah gerbang yang menyatakan gabungan dari kejadian yang ada dan bersesuaian dengan operasi penjumlahan dalam aljabar boolean,

Pertama beri pemisalan pada tiap-tiap gerbang dan kejadian.

- Misalkan : P adalah Top event
- B adalah Primary event (basic event)
- G adalah Intermediate event
- S adalah Undeveloped event

Dan misalkan :

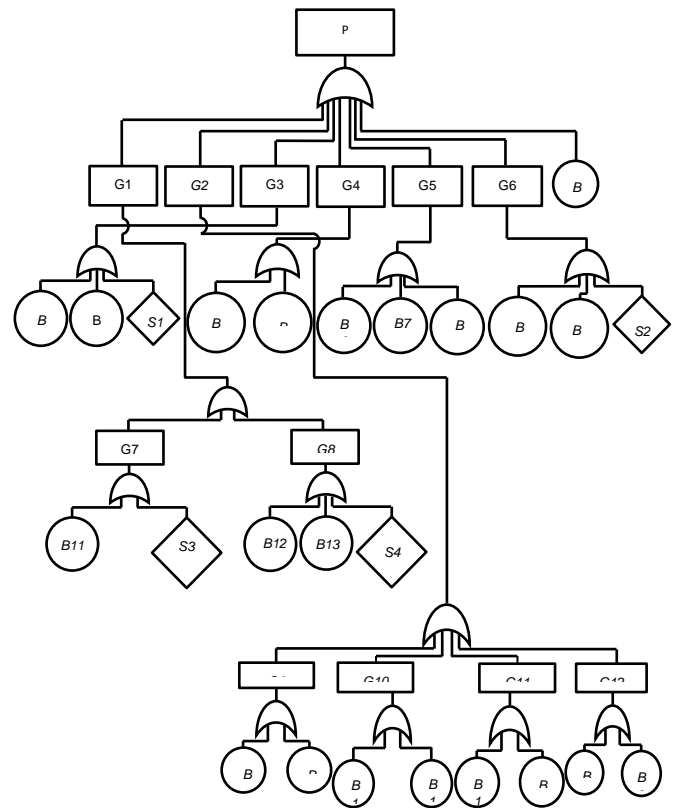
P = Thrust Reverser Illuminate Problem

- B1 = Kerusakan Relay
- B2 = Internal Damage Sync shaft
- B3 = Sync Shaft Tersumbat
- B4 = Lightning Strike
- B5 = Damage
- B6 = Kerusakan Proximity Sensor
- B7 = Broken Lockout Handle On Locating Actuator

- B8 = Wire Failure
- B9 = Internal Damage
- B10 = Tersumbat
- B11 = Switch Fails Opened
- B12 = Loose Part
- B13 = Parts Failure
- B14 = Defective O-ring Packings
- B15 = Defective rings
- B16 = Improper Matching of Slide and Sleeve
- B17 = Excessive clearance between slide and sleeve
- B18 = Foreign material in internal passage
- B19 = Leakage
- B20 = Defective Spring
- B21 = Foreign material between sliding surfaces of slide

- G1 = Kegagalan Autothrottle Switch Pack
- G2 = Kegagalan Hydraulic Control Valve
- G3 = Kegagalan Sync Shaft
- G4 = Kerusakan Translating Sleeve
- G5 = Kerusakan Sleeve Lock Sensor
- G6 = Kerusakan Actuator
- G7 = Kegagalan Switch
- G8 = Kegagalan Mechanic
- G9 = External Leak
- G10 = Excessive internal leakage
- G11 = Excessive Pressure Drop
- G12 = Excessive Spring Force
- S1 = Not Rigged Correctly at Installation sync shaft
- S2 = Not Rigged Correctly at Installation
- S3 = Switch terbuka secara tidak tepat
- S4 = Adjustment Angles

Dengan menempatkan tiap pemisalan pada tempat yang bersesuaian, didapat *Fault tree* seperti berikut ini



P	B1	0,001096
	B2	0,000731
	B3	0,000731
	B4	0,000548
	B5	0,000548
	B6	0,000731
	B7	0,000731
	B8	0,000731
	B9	0,001462
	B10	0,001462
	B11	0,001645
	B12	0,001096
	B13	0,001096
	B14	0,000274
	B15	0,000274
	B16	0,000274
	B17	0,000274
	B18	0,000274
	B19	0,000274
	B20	0,000274
	B21	0,000274
	S1	0,000731
	S2	0,001462
	S3	0,001645
	S4	0,001096
	Jumlah	0,019734

Maka Probabilitas munculnya kejadian *Thrust Reverser illuminate* pada

sistem *Thrust reverser* dari probabilitas yang diketahui adalah 0,019734.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisa kualitatif dari kegagalan sistem pada *Thrust reverser* dengan top event yaitu *Thrust Reverser Illuminate Problem* adalah top event terjadi jika kejadian Kerusakan *Relay, Internal Damage sync shaft, sync shaft Tersumbat, Lightning Strike, Damage, Kerusakan Proximity Sensor, Broken Lockout Handle On Locating Actuator, Wire Failure, Internal Damage, Tersumbat, Switch Fails Opened, Loose Part, Parts Failure, Defective O-ring Packings, Defective rings, Improper Matching of Slide and Sleeve, Excessive clearance between slide and sleeve, Foreign material in internal passage, Leakage, Defective Spring, Foreign material between sliding surfaces of slide, Not Rigged Correctly at Installation sync shaft, Not Rigged Correctly at Installation, Switch terbuka secara tidak tepat, Adjustment Angles* terjadi. Penyebabnya bisa salah satu dari kejadian tersebut, sehingga perbaikan dapat dilakukan secara terstruktur pada komponen tersebut.
2. Hasil analisis kuantitatif adalah probabilitas munculnya kejadian Thrust Reverser Illuminate Problem sebesar 0,019734. Kejadian paling sering terjadi berdasarkan *defect*

report adalah Kegagalan *Autothrottle Switch Pack*. Dengan hasil analisis kualitatif adalah *Switch Fails Opened, Loose Part, Parts Failure, Switch terbuka secara tidak tepat, Adjustment Angles*. Dengan mengetahui penyebab – penyebab yang mengakibatkan *Kegagalan Autothrottle switch pack*, Maka dari itu teknisi dapat melakukan pemeriksaan terstruktur terhadap hasil analisis kualitatif sehingga lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rolls-Royce. 1996. **“The Jet Engine”**. England : Rolls-Royce plc.
2. Boeing. 2015, **“Aircraft Maintenance Manual Chapter 78 Engine Exhaust”**. Seattle: Boeing Company.Inc.
3. Pandey, M. 2005. **“Engineering and Sustainable Development: Fault Tree Analysis”**. Waterloo : University of Waterloo.
4. Vesely, W. E. 1981. **“Fault Tree Handbook”**. Washington D.C : U.S. Nuclear Regulatory Commision.
5. Rosen, Kenneth H. 2007 **“Discrete Mathematics and Its Applications”**. New York : McGraw-Hill.
6. Priyanta, Dwi. 2000. **“Keandalan dan perawatan : Modul 1 Probabilitas”**. Surabaya : Institut Sepuluh Nopember.
7. Stamatelatos, Michael. 2002. **“Fault Tree Handbook with Aerospace Application.”** Washington D.C.
8. Stamatelatos, Michael and Homayoon,

- Dezfuli. 2011. ***“Probabilistic Risk Assessment: Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners.”***
Washington D.C.
9. Wulandari, Trisya. 2011. ***“Analisa Kegagalan sistem dengan Fault Tree”***. Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
10. Boeing, ***“Fault Isolation Manual B737-600/700/800/900 Chapter 78 Engine Exhaust”***. Seattle: Boeing Company.Inc.
11. Boeing, ***“Component Maintenance Manual B737-600/700/800/900”***.
Seattle: Boeing Company.Inc.