

Analisa kegagalan sistem beta pesawat Grob G 120TP-A dengan menggunakan metode *Mean Time Between Failure*

Agung Prakoso^{1,*}, Bima Candra Gautama Adi Setyo², Denny Dermawan³,

Cyrilus Sukaca Budiono⁴, Indro Lukito⁵, Riski Kurniawan⁶

^{1,2,4,5,6}Aeronautika, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Indonesia

³Teknik Elektro, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Indonesia

Article Info

Article history:

Received July 23, 2024

Accepted August 7, 2024

Published August 8, 2024

Keywords:

Beta Sistem

MTBF

FTA

Cycle

Grob G 120TP-A

ABSTRACT

Pesawat Grob G 120TP-A merupakan jenis pesawat latih dengan *engine single turbo propeller*. Dalam kinerja *engine* pesawat Grob G 120TP-A tersebut memiliki komponen yang dinamakan sistem beta untuk mengubah sudut *reverse* pada *propeller* dan menghasilkan gaya *drag*. Rata-rata kegagalan sistem beta banyak terjadi sebelum mencapai usia 3000 jam terbang. Berdasarkan hal tersebut dilakukan observasi kegagalan sistem beta pesawat Grob G 120TP-A dalam kurun waktu tahun 2016-2023, kemudian dilakukan analisis dengan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan dibandingkan dengan nilai probabilitas yang didapatkan dari pengalokasian *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil dari nilai *mean time between failure* paling tinggi pada sistem beta adalah terjadinya kegagalan N2 *Fluctuate* yang bernilai 961 *cycle* dan pesawat dengan nilai paling tinggi adalah pada pesawat LD 1201 dengan nilai 157 *cycle*, selanjutnya dibandingkan dengan probabilitas *faul tree*, maka kegagalan pada sistem beta dari total keseluruhan yang tidak bisa diterima hanya pada kegagalan *vibration* dan N2 *fluctuate*.



Corresponding Author:

Agung Prakoso,

Aeronautika,

Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto,

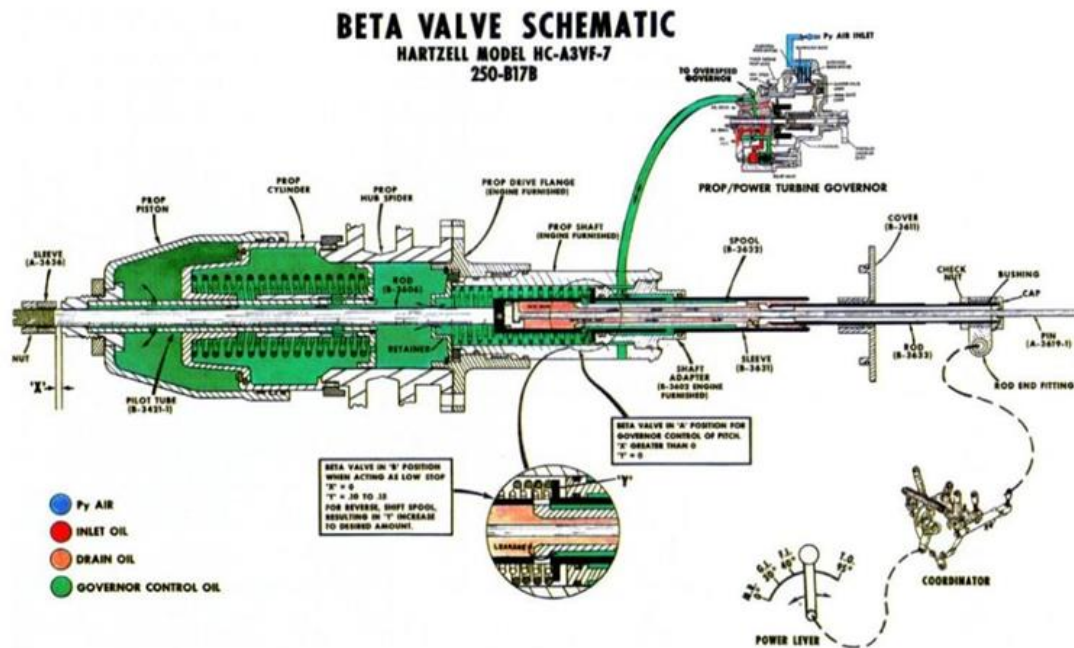
Jl. Janti Blok - R Lanud Adisutjipto, Yogyakarta, Indonesia.

Email: agungprakoso@itda.ac.id

1. PENGANTAR

Pesawat udara dirancang dengan mengutamakan keselamatan dan keamanan untuk meningkatkan *safety* yang sangat tinggi pada saat pengopersian [1]. Pesawat udara adalah pesawat sayap tetap yang didorong ke depan dengan dorongan dari mesin jet, baling-baling, atau mesin roket [2]. Pesawat terbang secara umum memiliki komponen-komponen utama seperti *fuselage*, *wing*, *empennage*, *rudder*, *landing gear* and *engine* [3]. *Engine* merupakan salah satu bagian yang sangat penting pada pesawat udara. Dimana *Engine* berfungsi sebagai sistem penggerak untuk menghasilkan gaya *thrust* pada pesawat udara [4]. Pesawat Grob G 120TP-A merupakan pesawat yang berada dibawah pengoperasian TNI-AU [5]. Pesawat Grob G 120TP-A, merupakan salah satu jenis pesawat latih (*aerobatic*) yang di produksi oleh Grob Aircraft germany, pesawat tersebut memiliki tipe *engine single turbo propeller* buatan Rolls-Royce dengan *serial number* 250-B17F. Dalam kinerja *engine* pesawat Grob G 120TP-A tersebut memiliki komponen yang dinamakan sistem beta untuk mengubah sudut *reverse* pada *propeller*. *Thrust reverser* merupakan sebuah sistem yang dapat membalikan arah *engine thrust* [6].

Propeller pada pesawat Grob G 120TP-A terdapat 5 bilah *blade* yang terbuat dari kayu pohon sprunce yang diproduksi langsung oleh MT-Propeller Germany. Untuk mendapatkan sudut *reverse* pada *propeller*, sistem yang bekerja adalah sistem beta dikarenakan sistem tersebut berfungsi sebagai membuka dan menutup aliran *oil* dari *governor* menuju *propeller hub* sehingga sudut yang dihasilkan adalah sudut *reverse* untuk mendapatkan gaya pengereman.



Gambar 1. Schematic sistem beta

Agar komponen tersebut tetap dalam kondisi *safety* maka harus dilakukan perawatan (*maintenance*) agar pesawat tetap dalam keadaan aman pada saat beroperasi [7]. Pada penelitian ini dilakukan analisis tentang rata-rata kegagalan sistem beta pesawat Grob G 120TP-A dari tahun 2016-2023, sehingga diharapkan dalam penelitian ini mendapatkan gambaran tentang kegagalan yang sering terjadi pada sistem beta apakah masih dapat diterima atau tidak.

2. METODE PENELITIAN

Mean time between failure adalah pemeliharaan yang mengukur keandalan aset yang berfokus pada waktu rata-rata suatu peralatan atau sistem tertentu tetap dalam kondisi operasional sebelum mengalami kegagalan [8-9]. MTBF dipresentasikan dalam satuan jam. semakin tinggi jumlah MTBF maka semakin tinggi keandalan suatu sistem atau komponen. MTBF ini dirumuskan sebagai dari hasil total waktu pengoperasian mesin dibagi dengan jumlah/frekuensi kegagalan hasil dari perhitungan MTBF dapat dilihat di bawah ini:

$$MTBF = \frac{\text{Total Operational Time}}{\text{Total Number Failure}} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

$$Pf = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

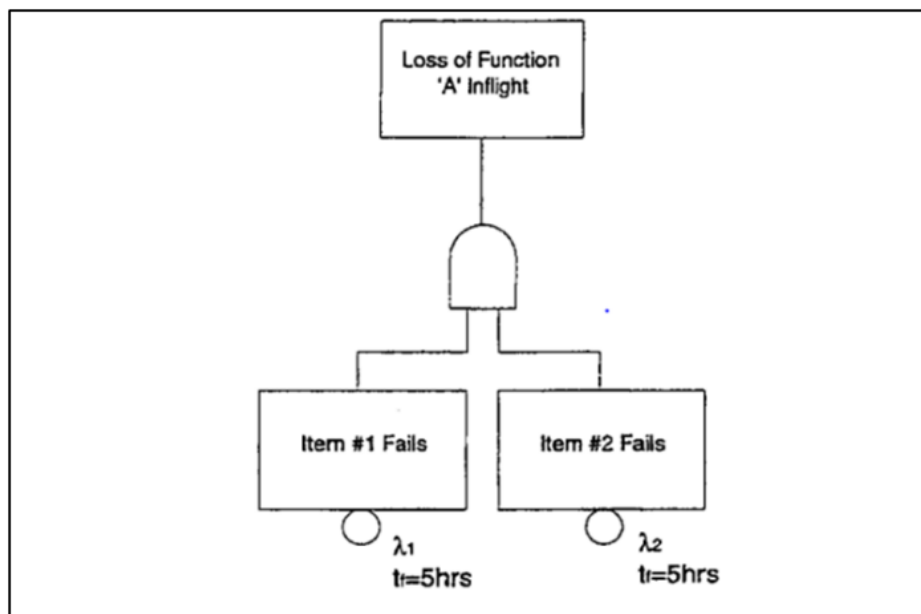
Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data kegagalan dan usia pemakaian komponen *beta system* yang digunakan mulai dari tahun 2016-2023 di hanggar 5 Skadron Teknik 043 Lanud Adisutjipto Yogyakarta. Metode ini digunakan untuk mendapatkan nilai rata-rata tertinggi pada kegagalan *beta system* pesawat Grob G 120TP-A dan mengetahui apakah kegagalan *beta system* pesawat Grob G 120TP-A masih bisa diterima.

FHA didefinisikan sebagai pemeriksaan fungsi yang sistematis dan komprehensif untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan kondisi kegagalan fungsi berdasarkan tingkat keparahannya [10]. FHA biasanya dilakukan pada dua tingkat, untuk tingkat pesawat mengklasifikasi kondisi kegagalan menetapkan persyaratan keselamatan yang harus dimiliki sebuah pesawat terbang bertujuan untuk mengidentifikasi dengan jelas setiap kondisi kegagalan beserta alasan tingkat keparahannya dan untuk tingkat sistem penilaian terhadap perangkat keras atau perangkat lunak. Pada gambar 2 menjelaskan analisis kualitatif dan kuantitatif dari regulasi penerbangan yang alternatif oleh FAA dan JAR.

Probability (Quantitative)	Per flight hour				
Probability (Descriptive)	1.0	1.0E-3	1.0E-5	1.0E-7	1.0E-9
FAA	Probable		Improbable		Extremely Improbable
JAA	Frequent	Reasonably Probable	Remote	Extremely Remote	Extremely Improbable
Failure Condition Severity Classification	FAA	Minor	Major	Severe Major	Catastrophic
JAA	Minor		Major	Hazardous	Catastrophic
Failure Condition Effect	FAA & JAA	- slight reduction in safety margins - slight increase in crew workload - some inconvenience to occupants	- significant reduction in safety margins or functional capabilities - significant increase in crew workload or in conditions impairing crew efficiency - some discomfort to occupants	- large reduction in safety margins or functional capabilities - higher workload or physical distress such that the crew could not be relied upon to perform tasks accurately or completely - adverse effects upon occupants	- all failure conditions which prevent continued safe flight and landing
Development Assurance Level	ARP 4754	Level D	Level C	Level B	Level A

Gambar 2. Tingkat keparahan kondisi kegagalan yang terkait dengan tujuan probabilitas dari FAA.

Fault tree analysis concepts and application merupakan pengamplikasian dari suatu kegagalan komponen dari *top event* secara *fault tree analysis* [11] dan dapat dialokasikan dari nilai probabilitas yang didapatkan dari nilai *mean time between failure* ke *fault tree*.

Gambar 3. Pengalokasian *Fault Tree Analysis* ketika dua kegagalan mengalami hilangnya fungsi

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan di Hanggar 5 Skadron Teknik 043 Lanud Adisutjipto Yogyakarta dan penulis mendapatkan data kegagalan pada sistem beta dari tahun 2016-2023. Dikarenakan kegagalan sistem beta termasuk kegagalan [12-15] pada saat di *ground* maka nilainya harus diubah menjadi siklus. Pesawat Grob setiap 1 kali misi terbang sama dengan ½ jam sehingga untuk mendapatkan nilai siklus maka waktu kegagalan dikalikan 2 dari nilai 2 kali *landing*.

Tabel 1. Kegagalan sistem beta tahun 2016-2023

No	Pesawat	Tanggal	Waktu Kegagalan (jam)	Siklus (kali)	Keterangan
1	LD 1201	19/10/2016	78,55	157	<i>Vibration</i>
2	LD 1202	26/04/2019	141,30	283	<i>N2 Fluctuate</i>
3	LD 1203	25/10/2016	1.100,00	2.200	<i>Vibration</i>
4	LD 1204	16/09/2016	766,20	1.532	<i>Vibration</i>
5	LD 1206	16/08/2016	1.078,45	2.157	<i>Vibration</i>
		20/05/2021	2.085,00	4.171	<i>Vibration</i>
6	LD 1207	16/09/2016	338,55	677	<i>Vibration</i>
		10/01/2022	1.366,35	2.733	<i>Oil Leak Cover</i>
7	LD 1208	08/09/2016	581,00	1.162	<i>Vibration</i>
		30/08/2023	2.501,00	5.002	<i>Vibration</i>
8	LD 1229	08/09/2016	1.073,25	2.147	<i>Vibration</i>
		25/02/2021	1.118,10	2.236	<i>Vibration</i>
9	LD 1210	16/08/2016	741,35	1.483	<i>Vibration</i>
10	LD 1211	25/10/2016	640,50	1.281	<i>Vibration</i>
11	LD 1212	25/10/2016	1.078,35	2.157	<i>Vibration</i>
12	LD 1213	16/09/2016	365,00	730	<i>Vibration</i>
13	LD 1214	12/05/2023	820,45	1.641	<i>Vibration</i>
14	LD 1215	16/09/2016	813,10	1.626	<i>Vibration</i>
		02/05/2019	819,00	1.638	<i>N2 Fluctuate</i>
15	LD 1216	16/09/2016	896,50	1.793	<i>Vibration</i>
		16/10/2020	2.080,20	4.160	<i>Vibration</i>
16	LD 1217	20/10/2016	1.064,45	2.129	<i>Vibration</i>
17	LD 1219	06/03/2020	102,15	204	<i>Vibration</i>
		28/11/2023	230,35	461	<i>Vibration</i>
18	LD 1220	16/09/2016	543,45	1.087	<i>Vibration</i>
		12/08/2020	704,30	1.409	<i>Vibration</i>
		02/12/2020	84,25	169	<i>Vibration</i>
19	LD 1221	20/10/2016	506,20	1.012	<i>Vibration</i>
20	LD 1222	16/09/2016	89,50	179	<i>Vibration</i>
21	LD 1223	20/09/2017	581,00	1.162	<i>Vibration</i>
		12/03/2018	204,35	409	<i>Vibration</i>
		18/05/2018	317,05	634	<i>Vibration</i>
22	LD 1225	09/05/2020	1640,9	1.640	<i>Vibration</i>
23	LD 1227	24/19/2020	853,45	1.707	<i>Oil leak cover beta</i>
24	LD 1229	30/06/2020	946,35	1.893	<i>Vibration</i>
		22/05/2023	1.211,45	2.432	<i>oil pressure</i>
		28/11/2023	230,35	461	<i>oil pressure</i>

Pada table 1 terdapat data kegagalan dari 24 pesawat Latih Dasar (LD) Grob dari tahun 2016 sampai dengan 2023 dengan kegagalan yang paling sering terjadi adalah *vibration*.

3.2 Nilai Probabilitas Untuk Kegagalan 24 Pesawat

1. Kegagalan *vibration* pada sistem beta pesawat Grob G 120TP-A

Nilai rata-rata kegagalan *vibration* = $48700/24 = 2029$

$$\lambda = 1/MTBF$$

$$\lambda = 1/2029 = 0,000492813$$

$$Pf = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$Pf = 1 - e^{-0,000492813 \times 24}$$

$$= 0,01176$$

Jadi nilai laju kegagalan *vibration* pada 24 pesawat adalah 0,000492813 dan nilai probabilitasnya adalah $1,17 \cdot 10^{-2}$.

2. Kegagalan *N2 fluctuate* pada sistem beta pesawat Grob G 120TP-A

Nilai rata-rata kegagalan *N2 fluctuate* = $1921/2 = 961$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{961} = 0,001041124$$

$$Pf = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$Pf = 1 - e^{-0,001041124 \times 2}$$

$$=0,002080082$$

Jadi nilai laju kegagalan *N2 fluctuate* pada 2 pesawat adalah 0,002080082 dan nilai probabilitasnya adalah $2,08.10^{-3}$.

3. Kegagalan *oil leak cover beta* pada sistem beta pesawat Grob G 120TP-A

Nilai rata-rata kegagalan *oil leak cover* = $4440/2 = 2220$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{2220} = 0,00045045$$

$$Pf = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$Pf = 1 - e^{-0,00045045 \times 2}$$

$$= 0,000900495$$

Jadi nilai laju kegagalan *oil leak cover* pada 2 pesawat adalah 0,00045045 dan nilai probabilitasnya adalah $9,00.10^{-4}$.

4. Kegagalan *oil pressure beta* pada sistem beta pesawat Grob G 120TP-A

Nilai rata-rata kegagalan *oil pressure* = $2893/2 = 1447$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{1447} = 0,000691324$$

$$Pf = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$Pf = 1 - e^{-0,000691324 \times 1}$$

$$= 0,000691085$$

Jadi nilai laju kegagalan *oil pressure* pada 2 pesawat adalah 0,000691324 dan nilai probabilitasnya adalah $6,91.10^{-4}$.

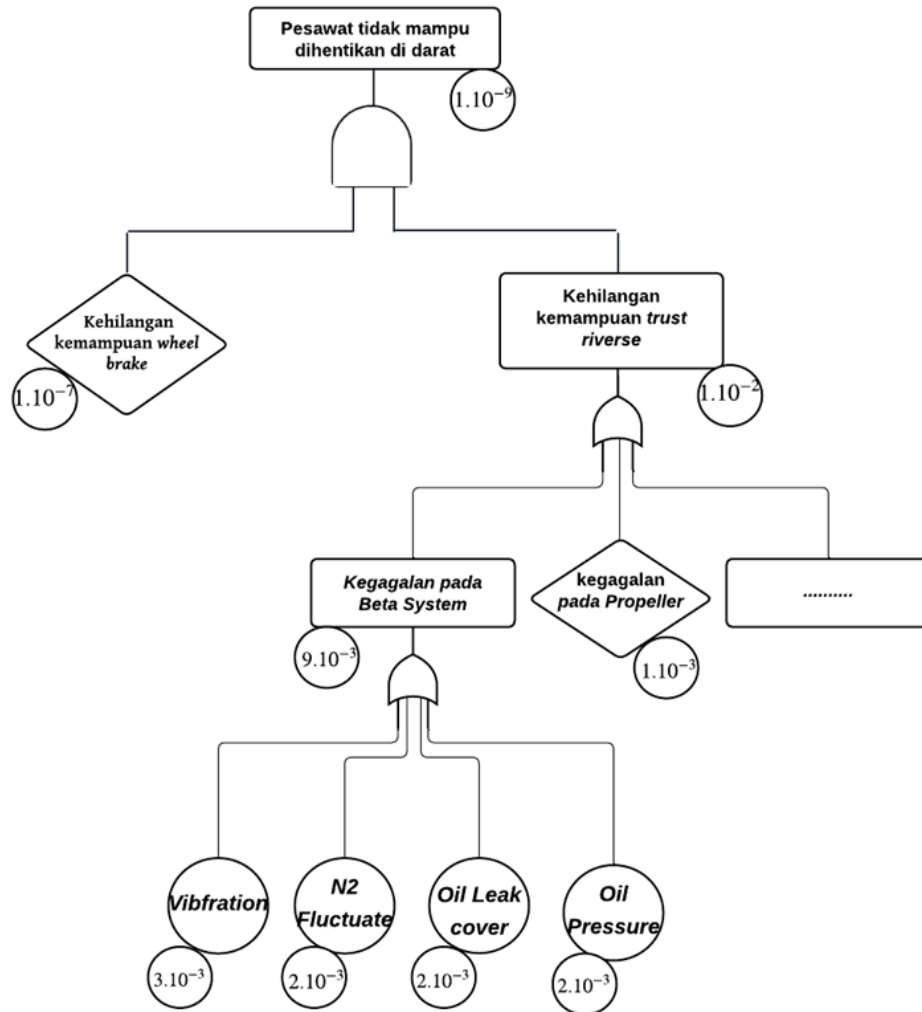
3.3 Nilai Probabilitas Kegagalan Tiap Pesawat

Pada table 2 didapatkan nilai laju kegagalan dan probabilitas kegagalan dari setiap pesawat grob berdasarkan kondisi kegagalannya dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2023.

Tabel 2. Nilai Probabilitas Setiap Pesawat

No	Pesawat	Kegagalan	Laju Kegagalan	Probabilitas kegagalan (Pf)
1	LD 1201	<i>Vibration</i>	0,0063694	$6,34.10^{-3}$
2	LD 1202	<i>N2 Fluctuate</i>	0,0035336	$3,53.10^{-3}$
3	LD1203	<i>Vibration</i>	0,0004545	$4,54.10^{-4}$
4	LD 1204	<i>Vibration</i>	0,0006527	$6,52.10^{-4}$
5	LD1206	<i>Vibration</i>	0,0003161	$3,16.10^{-4}$
6	LD 1207	<i>Vibration</i>	0,001477105	$3,48.10^{-2}$
		<i>Oil Leak Cover</i>	0,000365898	$8,74.10^{-3}$
7	LD 1208	<i>Vibration</i>	0,000162	$1,62.10^{-4}$
8	LD 1209	<i>Vibration</i>	0,00022815	$2,28.10^{-4}$
9	LD 1210	<i>Vibration</i>	0,00067431	$6,74.10^{-4}$
10	LD 1211	<i>Vibration</i>	0,00078064	$7,80.10^{-4}$
11	LD 1212	<i>Vibration</i>	0,00046361	$4,63.10^{-4}$
12	LD 1213	<i>Vibration</i>	0,00136986	$1,36.10^{-3}$
13	LD 1214	<i>Vibration</i>	0,00060938	$6,09.10^{-4}$
14	LD 1215	<i>Vibration</i>	0,00061501	$1,46.10^{-2}$
		<i>N2 Fluctuate</i>	0,000610501	$1,45.10^{-2}$
15	LD 1216	<i>Vibration</i>	0,000168	$1,67.10^{-4}$
16	LD 1217	<i>Vibration</i>	0,000470	$4,69.10^{-4}$
17	LD 1219	<i>Vibration</i>	0,001504	$1,50.10^{-3}$
18	LD 1220	<i>Vibration</i>	0,001126	$1,12.10^{-3}$
19	LD 1221	<i>Vibration</i>	0,000988	$9,87.10^{-4}$
20	LD 1222	<i>Vibration</i>	0,005587	$5,57.10^{-3}$
21	LD 1223	<i>Vibration</i>	0,000454	$4,53.10^{-4}$
22	LD 1225	<i>Vibration</i>	0,001361	$6,09.10^{-4}$
23	LD 1227	<i>Oil Leak Cover</i>	0,000586	$5,85.10^{-4}$
24	LD 1229	<i>Vibration</i>	0,000528262	$1,25.10^{-2}$
		<i>Oil Pressure</i>	0,00034566	$8,26.10^{-3}$

3.4 Pengalokasian *Fault Tree Analysis*



Gambar 4. Pengalokasian *Fault Tree Analysis*

Pada pengalokasian *fault tree analysis* yang akan diteliti kejadian atau peristiwa yang mengakibatkan terjadi *top event*. Untuk nilai *wheel brake* 1.10^{-7} karena fungsi utama pada saat di *ground*, *Thrust reverse* 1.10^{-2} merupakan hasil dari penjumlahan kegagalan sistem beta 9.10^{-3} dan kegagalan *propeller* 1.10^{-3} . Kegagalan sistem beta sendiri memiliki probabilitas kegagalan *Vibration* 3.10^{-3} , *N2 fluctuate* 2.10^{-3} , *Oil leak cover* 2.10^{-3} , *Oil pressure* 2.10^{-3} .

3.2. Analisis

Pembahasan dalam penelitian ini membandingkan nilai probabilitas dari MTBF dibandingkan dengan nilai probabilitas *fault tree* untuk mengetahui apakah kegagalan sistem beta masih layak diterima.

Tabel 3. Perbandingan probabilitas kegagalan sistem beta (24 Pesawat)

No	Kegagalan	Perbandingan Probabilitas	Keterangan
1	<i>Vibration</i>	$1,17.10^{-2} > 3.10^{-3}$	Tidak Diterima
2	<i>N2 Fluctuate</i>	$2,08.10^{-3} > 2.10^{-3}$	Tidak Diterima
3	<i>Oil Leak Cover</i>	$9,00.10^{-4} < 2.10^{-3}$	Diterima
4	<i>Oil Pressure</i>	$6,91.10^{-4} < 2.10^{-3}$	Diterima

Berdasarkan tabel 3 hasil perbandingan probabilitas dari 24 pesawat grob didapatkan bahwa kegagalan *vibration* dan *N2 fluctuate* tidak dapat diterima karena nilai probabilitasnya lebih besar dari pengalokasian *fault tree*, sedangkan kegagalan *oil leak cover* dan *oil pressure* masih dapat diterima.

Tabel 4. Perbandingan probabilitas kegagalan sistem beta (Tiap Pesawat)

No	Pesawat	Kegagalan	Perbandingan Probabilitas	Keterangan
1	LD 1201	<i>Vibration</i>	$6,34.10^{-3} > 3.10^{-3}$	Tidak Diterima
2	LD 1202	<i>N2 Fluctuate</i>	$3,53.10^{-3} > 2.10^{-3}$	Tidak Diterima
3	LD 1203	<i>Vibration</i>	$4,54.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
4	LD 1204	<i>Vibration</i>	$6,52.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
5	LD1206	<i>Vibration</i>	$3,16.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
6	LD 1207	<i>Vibration</i>	$3,48.10^{-2} > 3.10^{-3}$	Tidak diterima
		<i>Oil Leak Cover</i>	$8,74.10^{-3} > 2.10^{-3}$	Tidak diterima
7	LD 1208	<i>Vibration</i>	$1,62.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
8	LD 1209	<i>Vibration</i>	$2,28.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
9	LD 1210	<i>Vibration</i>	$6,74.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
10	LD 1211	<i>Vibration</i>	$7,80.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
11	LD 1212	<i>Vibration</i>	$4,63.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
12	LD 1213	<i>Vibration</i>	$1,36.10^{-3} < 3.10^{-3}$	Diterima
13	LD 1214	<i>Vibration</i>	$6,09.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
14	LD 1215	<i>Vibration</i>	$1,46.10^{-2} > 3.10^{-3}$	Tidak diterima
		<i>N2 Fluctuate</i>	$1,45.10^{-2} > 2.10^{-3}$	Tidak diterima
15	LD 1216	<i>Vibration</i>	$1,67.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
16	LD 1217	<i>Vibration</i>	$4,69.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
17	LD 1219	<i>Vibration</i>	$1,50.10^{-3} < 3.10^{-3}$	Diterima
18	LD 1220	<i>Vibration</i>	$1,12.10^{-3} < 3.10^{-3}$	Diterima
19	LD 1221	<i>Vibration</i>	$9,87.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
20	LD 1222	<i>Vibration</i>	$5,57.10^{-3} > 3.10^{-3}$	Tidak diterima
21	LD 1223	<i>Vibration</i>	$4,53.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
22	LD 1225	<i>Vibration</i>	$6,09.10^{-4} < 3.10^{-3}$	Diterima
23	LD 1227	<i>Oil Leak Cover</i>	$5,85.10^{-4} < 2.10^{-3}$	Diterima
24	LD 1229	<i>Vibration</i>	$1,25.10^{-2} > 3.10^{-3}$	Tidak diterima
		<i>Oil Pressure</i>	$8,26.10^{-3} > 2.10^{-3}$	Tidak diterima

Dari tabel 4 didapatkan kegagalan yang tidak dapat diterima adalah kegagalan *vibration* pada pesawat LD 1201, LD 1207, LD 1215, LD 1222, dan LD 1229, kegagalan *beta fluctuate* pada pesawat LD 1202 dan LD 1215, kegagalan *oil leak cover* pada pesawat LD 1207, dan kegagalan *oil pressure* pada pesawat LD 1229.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai *mean time between failure* yang paling tinggi untuk seluruh pesawat grob pada sistem beta adalah *N2 fluctuate* yang bernilai 961 dan *vibration* yang bernilai 2029. Kegagalan *N2 fluctuate* pesawat dengan nilai *mean time between failure* yang paling tinggi adalah pesawat LD 1202 dengan nilai 283 cycle, sedangkan kegagalan *vibration* pesawat dengan nilai *mean time between failure* yang paling tinggi adalah pesawat LD 1201 dengan nilai 157 cycle.

Berdasarkan perhitungan nilai probabilitas dibandingkan dengan probabilitas *fault tree*, maka kegagalan pada sistem beta dari total keseluruhan pesawat grob yang tidak bisa diterima adalah pada kegagalan *vibration* dan *N2 fluctuate*, sedangkan untuk kegagalan tiap-tiap pesawat grob, kegagalan yang tidak dapat diterima adalah kegagalan *vibration* pada pesawat LD 1201, LD 1207, LD 1215, LD 1222, dan LD 1229, kegagalan *beta fluctuate* pada pesawat LD 1202 dan LD 1215, kegagalan *oil leak cover* pada pesawat LD 1207, dan kegagalan *oil pressure* pada pesawat LD 1229.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Mora, "Telaahan Literatur Tentang Program Perawatan Pesawat Udara," War. Ardhia, vol. 38, no. 4, pp. 356–372, 2012, doi: [10.25104/wa.v38i4.205.356-372](https://doi.org/10.25104/wa.v38i4.205.356-372)
- [2] Farhan Ramadhan and I Made Arsana, "Sistem Pemeliharaan Ban Pesawat Terbang Airbus A320", Jurnal Teknik Mesin Volume 11 Nomor 01 Tahun 2023, Hal 95 - 102, doi: [10.26740/jtm.v11n01](https://doi.org/10.26740/jtm.v11n01)
- [3] Fajar Khanif Rahmawati, Istiyawan Priyahapsara, R.A. Funny, D.T. Wati, "Grob G 120 Tp-A Aircraft Beta System Analysis Using Fta (Fault Tree Analysis) Method", Jurnal Vortex Vol 4, No 2, 2023, doi: [10.28989/vortex.v4i2.1652](https://doi.org/10.28989/vortex.v4i2.1652)
- [4] Ahmad Fauzi, "Analisis Air Mode Pada Exhaust Gas Temperature Margin Terhadap High Pressure Compressor Clearance Control Mesin Turbofan Cfm 56-3c Pesawat Boeing 737 Classic Dengan Metode Fmea", Jurnal Teknik Mesin: Vol. 11, No. 3, Oktober 2022, Universitas Mercu Buana.

- [5] Ainul Chuzam, Bambang Kustiawan, Marsono, “Pemeliharaan Dan Kesiapan Pesawat G 120tp-A Grob Di Lanud Adisutjipto”, *Jurnal Strategi Pertahanan Udara*, Volume 9, Nomor 1, 2023, doi: [10.33172/jspu.v9i1.8283](https://doi.org/10.33172/jspu.v9i1.8283)
- [6] Gilang Lailul Akbar, “Rancang Bangun Alat Wiring Diagram Thrust Reverse Engine System Boeing 737-200 Sebagai Media Pembelajaran Di Politeknik Penerbangan Surabaya”, *Jurnal Teknologi Penerbangan*, ISSN : 2548 – 8090 e – ISSN : 2548 – 8104 VOL. 5 No. 2 Oktober 2021, doi: [10.46491/approach.v5i2.912](https://doi.org/10.46491/approach.v5i2.912)
- [7] Erna Shevilia Agustian, “Kajian Maintenance Pesawat Penumpang Di Indonesia”, *Jurnal Teknik SILITEK*, Vol. 03 No. 01 April 2023, doi: [10.51135/jts.v3i01.61](https://doi.org/10.51135/jts.v3i01.61)
- [8] Iman Mujiarto, Eddi Indro Asmoro, and Kundori Kundori, “Pengukuran Laju Kerusakan Dengan Mengindikasikan Nilai Mtbfd Dalam Manajemen Perawatan Mesin Pada Pt. Aic,” *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Inform.*, vol. 1, no. 3, pp. 14–23, 2022, doi: [10.55606/jtmei.v1i3.491](https://doi.org/10.55606/jtmei.v1i3.491)
- [9] N. F. Fatma, H. Ponda, and R. A. Kuswara, “Analisis Preventive Maintenance Dengan Metode Menghitung Mean Time Between Failure (Mtbfd) Dan Mean Time To Repair (Mtrr) (Studi Kasus Pt. Gajah Tunggal Tbk),” *Heuristic*, vol. 17, no. 2, pp. 87–94, 2020, doi: [10.30996/heuristic.v17i2.4648](https://doi.org/10.30996/heuristic.v17i2.4648)
- [10] P J Wilkinson, T P Kelly, “Functional Hazard Analysis For Highly Integrated Aerospace Systems”, *Conference: Certification of Ground/Air Systems Seminar*, doi: [10.1049/ic:19980312](https://doi.org/10.1049/ic:19980312)
- [11] Mohammed Taaqbier, Edi Sofyan, Ferry Setiawan, “Perancangan Aktivitas Maintenance Dengan Metode Reliability Pada Sistem Auxiliary Power Unit (Apu) Pesawat Boeing 737-500 Studi Kasus Di Pt. Mmf Surabaya”, *Teknika STTKD : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine* Vol 7, No. 2, Desember 2021, doi: [10.56521/teknika.v7i2.318](https://doi.org/10.56521/teknika.v7i2.318)
- [12] A. Prakoso, R. Kurniawan, and F. Mauluddin, “Penanganan dan Analisa Kegagalan Pada Bleed Air Leak Detection System Pesawat Airbus A330-300 di Hanggar 3 PT.GMF AEROASIA,” *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, vol. 3, no. 2, pp. 73–78, Dec. 2021, doi: [10.30871/jatra.v3i2.3714](https://doi.org/10.30871/jatra.v3i2.3714)
- [13] S. Perkasa and F. K. Rahmawati, “Analisis Kegagalan Lubrication System Auxiliary Power Unit (APU) Pesawat,” *Vortex*, vol. 4, no. 2, Jun. 2023, doi: [10.28989/vortex.v4i2.1693](https://doi.org/10.28989/vortex.v4i2.1693)
- [14] S., A. Sugiyanto, Y. Estriyanto, and B. Harjanto, “Analisis Kegagalan Retak dan Teknologi Perbaikan Sudu Turbin Jenis Inconel 792 pada Pesawat Terbang,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 14, no. 1, Sep. 2013, doi: [10.9744/jtm.14.1.22-27](https://doi.org/10.9744/jtm.14.1.22-27)
- [15] A. L. Karimah, M. I. Mawarda, W. Pauru’, Y. Ramadhan, and Y. Amalia, “Analisis Kegagalan Material Pada Sayap Pesawat Terbang (Review),” *Jumantara Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa*, vol. 1, no. 1, p. 26, Jul. 2022, doi: [10.28989/jumantara.v1i1.1266](https://doi.org/10.28989/jumantara.v1i1.1266)