



Analisis Pemeliharaan Menggunakan Metode *Reliability* pada Sistem Gas Turbine Engine untuk Mengetahui Kinerja Engine Turbofan CFM56-3 pada Pesawat Boeing 737-500

Asrul Sani^{1*}, Reo Yudhono², Arfie Armelia Erissonia³

¹⁻³Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Indonesia

Korespondensi penulis: asrulbima9@gmail.com*

Abstract. In carrying out structured maintenance, a method is needed to increase the durability of an aircraft component, one of the methods used is the reliability method. The reliability of aircraft components is very necessary to ensure that each aircraft component is serviceable and runs according to its function in the aircraft system, so to increase the reliability of an aircraft component, the reliability method is very important to do. This study aims to determine the critical life time limit of the asset or system or equipment function and identify the failure mode that occurs in the Gas Turbine Engine component of the Boeing 737-500 aircraft because if this engine fails, it can result in flight delays and if not handled immediately can cause the aircraft to experience Aircraft on Ground (AOG) conditions, because it has the potential to disrupt airworthiness and threaten safety. This study uses exploratory research which aims to simplify problems to make them easier to solve. This study uses the Pareto diagram method to determine the highest type of failure in components, then analyzes it using the failure mode effect analysis (FMEA) method. Based on FMECA and FTA analysis, there are 3 failure modes, the failure modes include mechanical system (Bleed Valve), pneumatic system (Butterfly Shaft), electrical system (actuator). The failure was due to the occurrence of the top event part consumable, namely the bleed valve part with an RPN value of 192, followed by the butterfly shaft part with an RPN value of 75 and the Actuator part with an RPN value of 72. The pneumatic system and electrical system categories are prioritized to carry out preventive maintenance, which means it is a solution from industry players in an effort to maximize maintenance of the turbofan engine system accompanied by technical or economic analysis to ensure a system in extending the service life of parts in the aircraft system.

Keywords: Reliability, Engine, Distance, FMEA

Abstrak. Dalam melakukan perawatan yang terstruktur diperlukan sebuah metode yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan dari suatu komponen pesawat terbang, salah satu metode yang digunakan yaitu metode reliability. Keandalan komponen pesawat terbang sangat diperlukan untuk memastikan setiap komponen pesawat terbang serviceable dan berjalan sesuai fungsi di dalam sistem pesawat terbang, maka untuk meningkatkan reliability dari suatu komponen pesawat terbang metode reliability sangat penting untuk dilakukan. Dalam penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan batas life time critical fungsi asset atau sistem maupun equipment dan mengidentifikasi mode kegagalan (failure mode) yang terjadi pada komponen Gas Turbine Engine pesawat boeing 737-500 karena jika engine ini sampai mengalami kegagalan maka hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya delay pada penerbangan bahkan jika tidak segera di tangani dapat menyebabkan pesawat tersebut mengalami kondisi Aircraft On Ground (AOG), karena berpotensi mengganggu airworthy dan mengancam keselamatan (safety). Pada penelitian ini menggunakan riset exploratory yang bertujuan untuk menyederhanakan masalah agar lebih mudah dipecahkan. Adapun pada penelitian ini menggunakan metode diagram pareto untuk mentukan jenis kegagalan tertinggi pada komponen, setelah itu menganalisa menggunakan metode failure mode effect analysis (FMEA). Berdasarkan analisis FMECA dan FTA terdapat 3 mode kegagalan, mode kegagalan tersebut antara lain mechanical system (Bleed Valve), pneumatic system (Butterfly Shaft), electrical system (actuator). Kegagalan tersebut dikarenakan terjadinya top event part consume ialah part bleed valve dengan nilai RPN sebesar 192, diikuti part butterfly shaft dengan nilai RPN sebesar 75 dan part Actuator dengan nilai RPN sebesar 72. Kategori pneumatic system dan electrical system diprioritaskan untuk melakukan preventive maintenance yang artinya merupakan solusi dari para pelaku industri dalam upayah memaksimalkan pemeliharaan terhadap system engine turbofan yang disertai analisa teknik ataupun ekonomis untuk menjamin suatu system dalam memperpanjang usia pakai part yang ada pada sistem pesawat terbang.

Kata kunci: Reliability, Engine, Jarak, FMEA

1. LATAR BELAKANG

Pada zaman modern ini, pesawat terbang merupakan alat transportasi udara yang mempunyai tingkat keamanan (safety) dan kenyamanan yang tinggi. Pesawat terbang merupakan salah satu alat transportasi yang paling efektif atau efisien untuk digunakan di Indonesia karena mampu menghubungkan masyarakat di berbagai pulau dengan lebih cepat dan aman. Pesawat sebelum terbang atau setelah terbang harus diperiksa dan dipelihara secara konsisten sesuai metode yang ada. Adanya pemeriksaan dan dukungan standar tersebut dengan tujuan agar semua kerangka dan bagian dalam pesawat dapat bekerja dengan baik dan aman.

Pesawat Boeing 737-500 menggunakan mesin turbofan yaitu sebuah jenis mesin jet yang ada pada pesawat terbang yang mirip dengan mesin turbojet. Dalam melakukan perawatan yang terstruktur diperlukan sebuah metode yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan dari suatu komponen pesawat terbang, salah satu metode yang digunakan yaitu metode reliability.

Hasil dari metode reliability ini bertujuan untuk memprioritaskan kepentingan dari mode kegagalan dan membuat jadwal perawatan yang efektif (effective schedule maintenance) serta memilih cara perawatan (maintenance) yang tepat setelah komponen tersebut mencapai batas life time critical, selain itu dapat mengklasifikasikan perawatan berdasarkan Preventive Maintenance (PM) dan Corrective Maintenance (CM).

2. KAJIAN TEORITIS

Muhammad Arif Widyoadi, Singgih Saptadi, Ratna Purwaningsih (2016), membahas mengenai Perencanaan Sistem Pemeliharaan Mesin Roller Head Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) (Studi Kasus di departmen maintenance PT. Bando Indonesia). Berdasarkan FMEA dan LTA, kegiatan perawatan untuk komponen Gear, Rantai Conveyor Transfer, Bearing, Screw, dan main motor adalah scheduled discard task yaitu penjadwalan penggantian komponen. Biaya perawatan komponen Gear sebesar Rp 22.445.000 dengan interval perawatan selama 3456 jam atau 144 hari, biaya perawatan komponen Rantai Conveyor Transfer sebesar Rp 4.169.950 dengan interval perawatan selama 2088 jam atau 87 hari, biaya perawatan komponen Bearing sebesar Rp 10.815.000 dengan interval perawatan selama 4296 jam atau 179 hari, biaya perawatan komponen Screw sebesar Rp 22.772.500 dengan interval perawatan selama 3120 jam atau 130 hari dan biaya perawatan komponen Main rotor sebesar Rp 25.515.000 dengan interval perawatan selama 6336 jam atau 264 hari Setelah penerapan RCM II pada komponen gear terjadi peningkatan reliability sebesar 33,50%, komponen rantai conveyor transfer sebesar 41,40%, komponen bearing sebesar 26%,

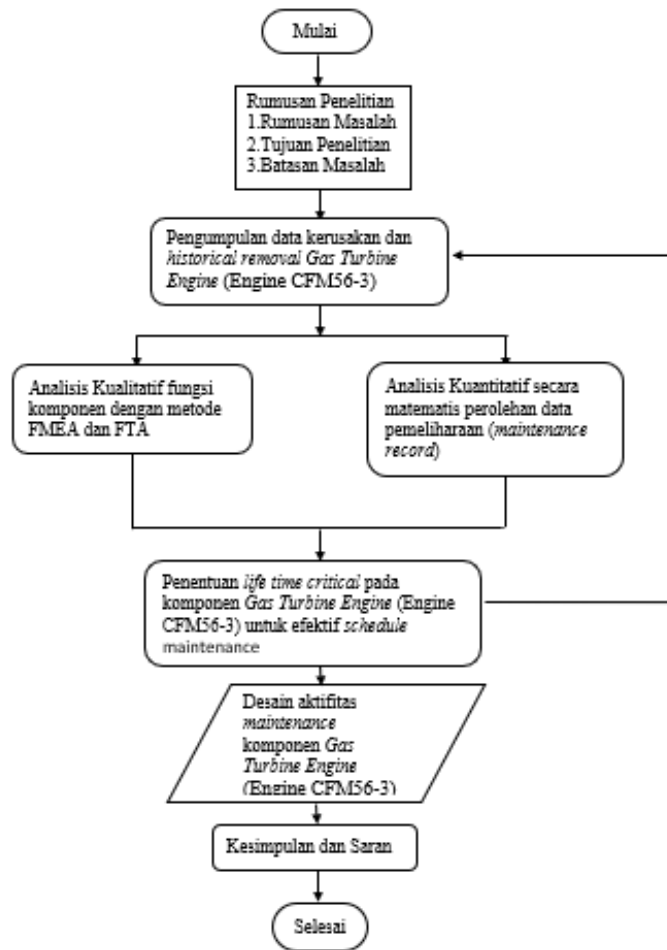
komponen screw sebesar 45,40%, dan komponen main motor sebesar 26,50%. Kemudian Perbandingan Total Cost kondisi rill dan setelah penerapan RCM II terdapat penurunan sebesar Rp 33.304.864 atau sebesar 14,51%

Ir. Denur, MM, Legisnal Hakim, MT, Ir. Indra Hasan, MT, Syahrul Rahmad (2017), membahas mengenai Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Mesin Ripple Mill. Berdasarkan nilai betha Ripple Mill no 3 tahun 2014 yaitu 0,32057658 dan tahun 2015 adalah $0,149883 < 1$ sehingga pemeliharaan yang digunakan adalah predictive maintenance yang merupakan perawatan tingkat sedang dilaksanakan untuk mengembalikan dan memulihkan sistem dalam keadaan siap dengan memberikan perbaikan atas kerusakan yang telah menyebabkan merosotnya tingkat keandalan. Predictive maintenance dapat dilakukan yakni Vibration Monitoring and analysis, Infrared Thermography inspection dan Oil analysis yang bertujuan untuk melihat kondisi bearing melalui lubrikasi dan diharapkan deteksi dini terhadap kerusakan bearing dapat dilakukan.

Rizqon Robie (2010), membahas mengenai Usulan Penerapan Reliability Centered Maintenance Pada Fasilitas Power Pt. H3i Untuk Peningkatan Ketersediaan Jaringan. Dari analisa FMEA ada beberapa komponen yang menjadi komponen signifikan yaitu komponen yang apabila terjadi kegagalan akan mengakibatkan dampak sistemik yang besar yaitu komponen: Contactor, AMF Module dan Lightning Arrester. Pembuatan Intermediate Decision Tree (IDT) yaitu analisa untuk mengetahui kegagalan yang nampak atau tersembunyi. Dengan intermediate decision tree ini, tiap mode kegagalan yang telah dianalisa dikategorikan kedalam, kategori A (masalah keselamatan) yang merupakan prioritas tertinggi, kategori B (masalah sistem berhenti/ berpengaruh kepada operasi) yang merupakan prioritas kedua, kategori C (masalah minor/ tidak berpengaruh terhadap operasi) yang diklasifikasikan menjadi RTF, dan kategori D (masalah kegagalan tersembunyi).

3. METODE PENELITIAN

Adapun pada penelitian ini menggunakan metode diagram pareto untuk mentukan jenis kegagalan tertinggi pada komponen, setelah itu menganalisa menggunakan metode *failure mode effect analysis* (FMEA). Adapun data yang akan dicari adalah *life time* komponen *Gas Turbine Engine* dan apa saja *failure mode* yang terjadi pada komponen *Gas Turbine Engine*. Pada penelitian ini juga membutuhkan data *life time component* dan *failure mode* dari komponen *Gas Turbine Engine* di PT. Merpati *Maintenance Facility* (MMF). Adapun tahapan dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tempat yang dijadikan objek penelitian adalah PT. Merpati *Maintenance Facility* (MMF) yang terletak di area perkantoran Bandar udara Juanda, Sudimoro, Betro Kec. Sedati, Surabaya, Jawa Timur. Waktu penulis akan melaksanakan penelitian pada priode 17 Juli 2022 sampai 20 Agustus 2022.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis FMECA dan *Critical* Komponen

Pengujian ini ialah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui komponen rancangan apakah dapat berjalan dengan baik fungsinya dari setiap komponen yang ada. Adapun hasil pengujian fungsional dapat ditinjau pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis FMECA dan *Critical* Komponen

Dari analisis FMECA dan *Critical* Komponen yang dilakukan didapatkan hasil bahwa terdapat top 6 failure mode yang terjadi pada komponen *Turbo Fan* CFM56-3B-1. Sedangkan untuk hasil nilai RPN diperoleh enam *failure mode* dari komponen *Turbo Fan* CFM56-3B-1 yang memiliki tingkat resiko tinggi atau nilai RPN ≥ 100 yaitu *part Blade Valve blade valve*

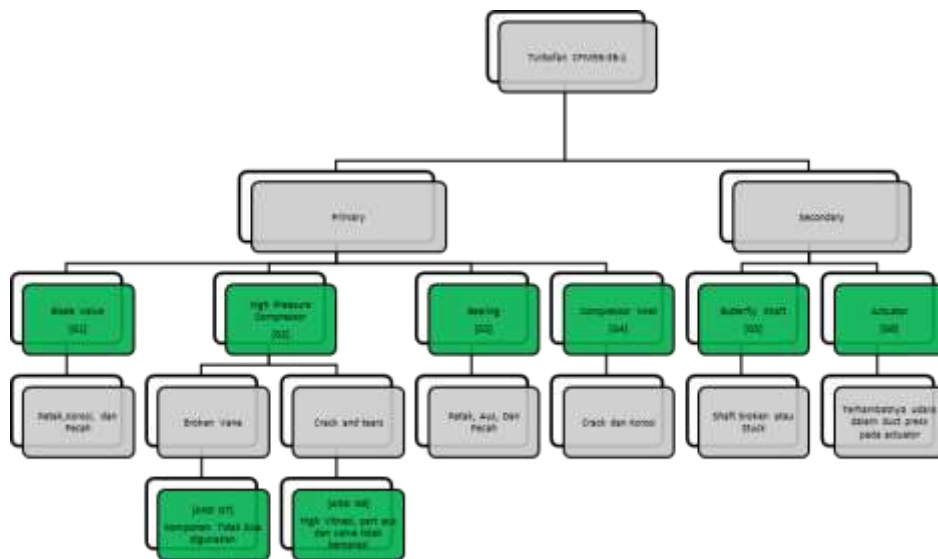
tidak dapat beroperasi dengan nilai RPN sebesar 192, sedangkan hasil RPN <100 dengan kategori kerusakan *part Butterfly Shaft* yang mengalami *Shaft broken/ stuck* dengan nilai RPN sebesar 75, *Actuator* yang mengalami Terjadinya kelambatan pergerakan udara didalam *duct press* pada *Actuator* dengan nilai sebesar 72, *High Preasure Compressor* yang mengalami *Broken Vane* dengan nilai sebesar 40, *High Preasure Compressor* yang mengalami *Cracks and tears* dengan nilai sebesar 24, *Bearing* yang mengamali Retak, Aus, dan pecah dengan nilai sebesar 80, dan *Compressor Inlet* yang mengalami *crack* dan korosi dengan nilai sebesar 96.

Pengolahan Data FTA

Dalam analisis FTA terdapat gerbang AND menyatakan bahwa semua kejadian dibawah gerbang AND harus terjadi agar kejadian diatas gerbang tersebut terjadi, sedangkan gerbang OR menyatakan bahwa salah satu saja kejadian dibawah gerbang tersebut harus terjadi agar kejadian diatas gerbang dapat terjadi.

Tabel 1. Analisis Pengolahan Data FTA

Item	Kegagalan yang mungkin terjadi	Dampak dari kegagalan yang terjadi	S E V	Tindaka Pencegahan agar Kegagalan tidak terjadi	O C C T	D E T	RPN
<i>Blade Valve</i>	retak, korosi, dan pecah	blade valve tidak dapat beroperasi	8	painting, cleaning dan ganti	6	4	192
<i>Butterfly Shaft</i>	<i>Shaft broken/stuck</i>	Perubahan pressure yg mengakibatkan <i>overheat</i>	5	Perbaikan part yang rusak Clean aqueous part	3	5	75
<i>Actuator</i>	Terjadinya kelambatan pergerakan udara didalam <i>duct press</i> pada <i>Actuator</i>	<i>Actuator pressure over pressure and overhead</i>	6	<i>Actuator bocor</i> dan mengakibatkan <i>over pressure and overead bleed air</i> dan mengganti part	4	3	72
<i>High Preasure Compressor</i>	<i>Broken Vane</i>	komponen tidak dapat beroperasi	5	<i>Painting, cleaning</i> dan diganti	4	2	40
	<i>Cracks and tears</i>	<i>High vibration, noise, aus, dan valve</i> tidak dapat beroperasi	6	<i>Cleaning Valve</i> diganti	2	2	24
<i>Bearing</i>	Retak, Aus dan pecah	<i>High vibration, noise, aus, dan bearing sleeve</i> tidak dapat beroperasi.	4	cairan G421 cloth, G02450 [CP2191] <i>grade for finishing</i> dan ganti <i>part</i>	5	4	80
<i>Compressor Inlet</i>	<i>crack</i> dan korosi	Tekanan udara tidak mencapai 10-45 Psi (69 to 310.5 kPa)	8	Penggantian <i>part packing</i> baru	6	2	96

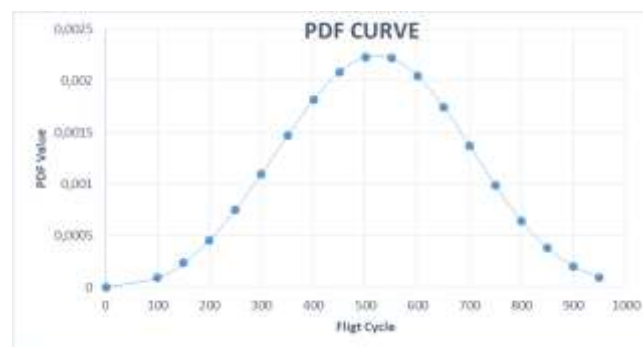


Gambar 2 Hasil Analisis FTA

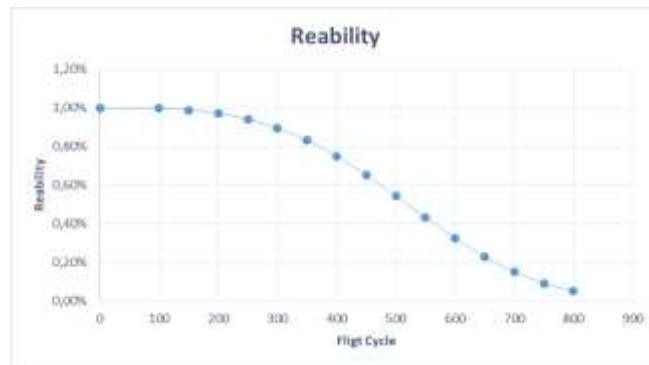
Dari analisis FTA komponen *Turbo Fan* CFM56-3B-1 pesawat Boeing Clasic 737-500 didapatkan bahwa Top Event-nya adalah *Turbo Fan* CFM56-3B-1. Hal ini dapat terjadi pada 2 bagian yaitu *primery* dan *secondary*. Dan apabila salah satu kejadian dibawah gerbang *primary* [G1] Bleed Valve, [G2] High Pressure Compressor, [G3] Bearing, [G4] Compressor Inlet terjadi kegagalan, Tiap gerbang dibawah Primary lalu ditelusuri kembali *basic event* penyebab kemungkinan terjadinya di gerbang [G1], [G2], [G3] dan [G4]. Untuk kejadian diatas gerbang [G1] yaitu *Bleed Valve* akan gagal apabila salah satu faktor dibawah gerbang [G1] terjadi, yaitu karena retak (*creacked*), korosi, pecah (*broken*) karena adanya panas berlebih (*overheat*) dan tekanan berlebih (*Over Voltage*). Untuk kejadian [G2] *High Pressure Compressor* akan mengalami kegagalan apabila terjadi *broken vane Crack and tears*. *Broken Vane* yang terjadi karena [AND G7] komponen tidak dapat digunakan. *Crack and tears* yang terjadi karena [AND G8] *High Vibrasi, part aus* dan *valve* tidak dapat beroperasi. Demikian pula kejadian [G3] *Bearing* akan mengalami kegagalan apabila sering terjadi retak, aus dan pecah karena kekurangan oil pelumas sehingga mengakibatkan aus dan dapat mempengaruhi material lain sehingga terjadi retak, aus dan pecah. Untuk kejadian [G4] *Compressor Inlet* akan mengalami kegagalan apabila terjadi *Crack* dan *Korosi*. *Crack* dan *korosi* terjadi karena kelebihan tekanan (*Over voltage*) sehingga mengakibatkan terjadinya *Crack* dan *Korosi*. Sedangkan pada *Secondary* [G5] *Butterfly Shaft* akan mengalami kegagalan apabila terjadi *Shaft Broken* atau *stuck* yang terjadi karena penggunaan melebihi batasa waktu, pemasangan *bearing* yang tidak sesuai standar yang telah ditentukan, dan kurang pelumas atau minyak pada *bearing*. Dan untuk kegagalan [G6] *Atuator* akan mengalami kegagalan apabila terjadi terhambatnya udara dalam *duct press* pada *acuator*.

Pengolahan Data Mechanical System

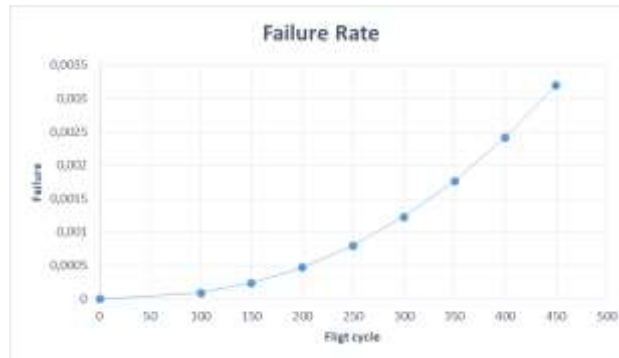
Analisis weibull kategori kelompok *Mechanical System Turbo Fan* CFM56-3B-1 menggunakan analisis weibull 2 parameter yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (α) dengan interval variasi *cycle* setiap penambahan 450 FC.



Gambar 3 Hasil Grafik PDF Mechanical System



Gambar 4 Hasil Grafik *Reability Mechanical System*

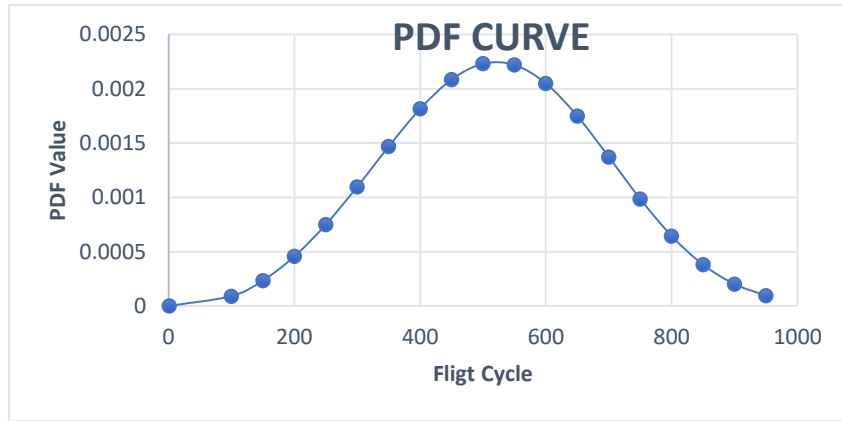


Gambar 5 Hasil Grafik *Failure Rate Mechanical System*

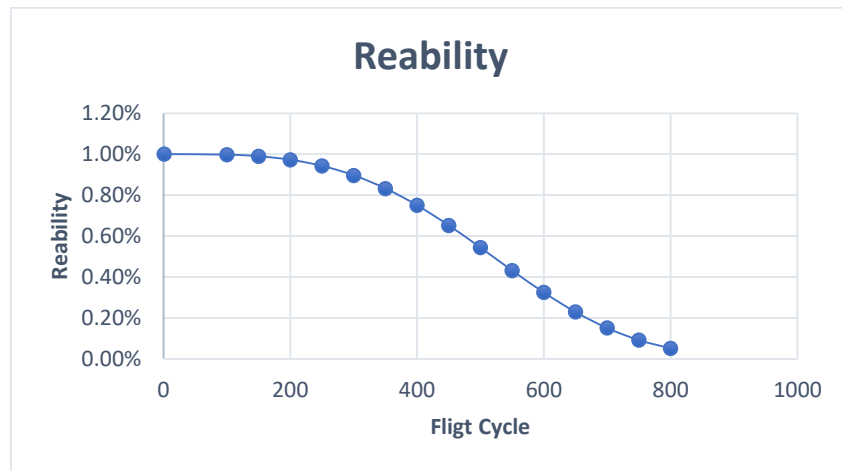
Dari plot data nilai RRX kedalam grafik antara *flight cycle* vs PDF tersebut didapatkan hasil nilai PDF minimum sebesar 0,0005261 C dengan nilai *reability* sebesar 37,92% atau 0,3792 C, dan nilai *failure rate* sebesar 0,000847463 C, sedangkan untuk nilai maximum PDF sebesar 0,0005233 C dengan nilai *reability* sebesar 43,18% atau 0,4318 C, dan nilai failure rate sebesar 0,000920983 C. Hal ini menunjukkan bahwa *electronic system* masih berada pada zona *wearout life* dimana kegagalan masih akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu hingga titik puncak (*peak*) sebesar 0,000920983 C sebagai batas antara *potential failure* dengan *functional failure*, sehingga *preventive maintenance* perlu diaplikasikan untuk *part/system* yang berada pada wear-out zone, dimana maximum life time criticalnya sebesar 1101 FC. Hal ini disebabkan karena bagian atau part dari *electronic system* merupakan part yang termasuk dalam komponen kritis sehingga jika mengalami kegagalan maka akan sangat berpengaruh terhadap sistem dan memerlukan biaya (*maintenance cost*) yang cukup tinggi.

Pengolahan Data Pneumatic System

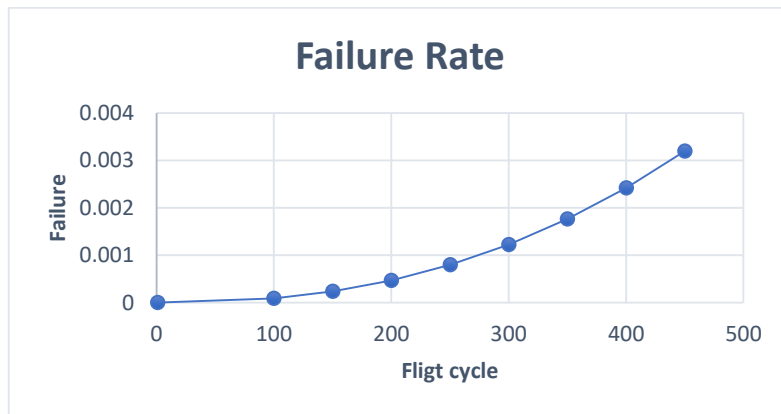
Analisis weibull kategori kelompok *Pneumatic System Turbo Fun CFM56-3B-1* menggunakan analisis weibull 2 parameter yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (α) dengan interval variasi *cycle* setiap penambahan 450 FC



Gambar 6 Hasil Grafik PDF Pneumatic System



Gambar 7 Hasil Grafik Reability Pneumatic System



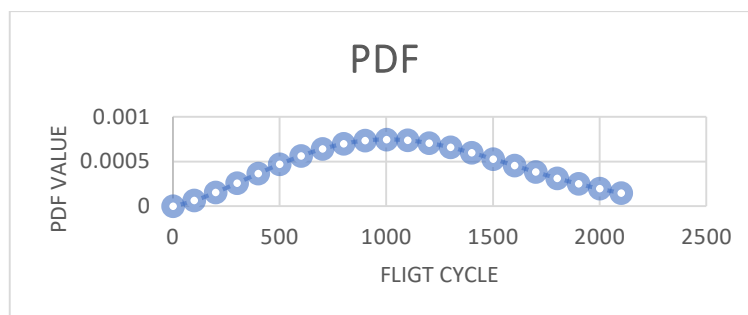
Gambar 8 Hasil Grafik Failure Rate Pneumatic System

Dari plot data nilai RRX kedalam grafik antara *flight cycle* vs PDF tersebut didapatkan hasil nilai PDF minimum sebesar 0,00208491 C dengan nilai *reability* sebesar 65,22% atau 0,6522 C, dan nilai *failure rate* sebesar 0,003196594 C, sedangkan untuk nilai maximum PDF sebesar 0,002230202 C dengan nilai *reability* sebesar 54,37% atau 0,5437C, dan nilai failure rate sebesar 0,004101542 C. Hal ini menunjukkan bahwa *Pneumatic system* masih berada pada zona *wearout life* dimana kegagalan masih akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu

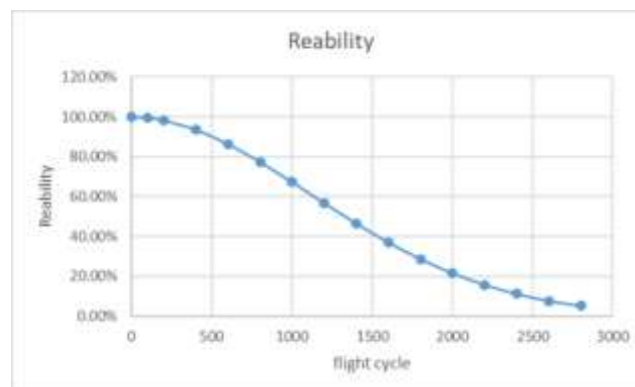
hingga titik puncak (*peak*) sebesar 0,004101542 C sebagai batas antara *potential failure* dengan *functional failure*, sehingga *preventive maintenance* perlu diaplikasikan untuk *part/system* yang berada pada wear-out zone, dimana maximum life time criticalnya sebesar 450 FC. Hal ini disebabkan karena bagian atau part dari *pneumatic system* merupakan part yang termasuk dalam komponen kritis sehingga jika mengalami kegagalan maka akan sangat berpengaruh terhadap sistem dan memerlukan biaya (*maintenance cost*) yang cukup tinggi.

Pengolahan Data Electrical

Analisis weibull kategori kelompok *Electrical Turbo Fun CFM56-3B-1* menggunakan analisis weibull 2 parameter yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (α) dengan interval variasi *cycle* setiap penambahan 450 FC.



Gambar 9 Hasil Grafik PDF Electrical



Gambar 10 Hasil Grafik Reability Electrical



Gambar 11 Hasil Grafik Failure Rate Electrical

Dari plot data nilai RRX kedalam grafik antara *flight cycle* vs PDF tersebut didapatkan hasil nilai PDF minimum sebesar 0,000697605 C dengan nilai *reliability* sebesar 71,39% atau 0,7139 C, dan nilai *failure rate* sebesar 0,000977165 C, sedangkan untuk nilai maximum PDF sebesar 0,000733154 C dengan nilai *reliability* sebesar 64,22% atau 0,6422 C, dan nilai *failure rate* sebesar 0,00114167 C. Hal ini menunjukkan bahwa *pneumatic system* masih berada pada zona *wearout life* dimana kegagalan masih akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu hingga titik puncak (*peak*) sebesar 0,00114167C sebagai batas antara *potential failure* dengan *functional failure*, sehingga *preventive maintenance* perlu diaplikasikan untuk *part/system* yang berada pada wear-out zone, dimana maximum life time criticalnya sebesar 801 FC. Hal ini disebabkan karena bagian atau part dari *pnaumatic system* merupakan part yang termasuk dalam komponen kritis sehingga jika mengalami kegagalan maka akan sangat berpengaruh terhadap sistem dan memerlukan biaya (*maintenance cost*) yang cukup tinggi.

Effective schedule maintenance Turbo Fan CFM56-3B-1

Effective schedule maintenance merupakan hasil yang di dapatkan dari analisis kuantitatif menggunakan *distribusi weibull* berdasarkan kelompok system kerja *Mechanical System, Pneumatic System, dan Elektronik System* komponen Turbo Fan CFM56-3B-1 yang bersumber dari data kerusakan *reason of removal*, sehingga didapatkan *effective schedule maintenance* sesuai *life time critical system* kerja komponen,

Tabel 2 Effective Schedule Maintenance

Komponen	Reason of Remofal	Part Turbo Fan CFM56-3B-1	MTTF		Reability	
			RRY	RRX	Jam Terbang	R (t)
Turbo Fan CFM56-3B-1	<i>Mechanical System</i>	Bleed Valve	1533,12 Jam terbang	1425,29 Jam terbang	1101	0,6208
	<i>Pneumatic System</i>	Butterly Shaft	1788,47 Jam terbang	520,16 Jam terbang	450	0,6522
	<i>Elektronik System</i>	Acuator	1,6696 Jam terbang	1133,59 Jam terbang	801	0,7139

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mode kegagalan (*failure mode*) yang terjadi pada komponen *Turbo Fan CFM56-3B-1* pesawat Boeing *clasic 737-500* berdasarkan analisis FMECA dan FTA terdapat 3 mode kegagalan, mode kegagalan tersebut antara lain *mechanical system (Bleed Valve), pneumatic system (Butterfly Shaft), electrical system (actuator)*. Kegagalan tersebut dikarenakan terjadinya *top event part comsume* ialah *part bleed valve* dengan nilai RPN sebesar 192, diikuti *part Butterfly Shaft* dengan nilai RPN sebesar 75 dan *part Actuator* dengan nilai RPN sebesar 72.

2. Kategori *mechanical system* lebih diprioritaskan untuk dilakukan *corrective maintenance* yang dimana kegiatan ini disebut kegiatan reparasi atau perbaikan yang biasanya kegiatan ini tidak dapat direncanakan terlebih dahulu sebab hanya dapat diperbaiki setelah terjadi kerusakan. Sedangkan, kategori *pneumatic system* dan *electrical system* diprioritaskan untuk melakukan *preventive maintenance* yang artinya merupakan solusi dari para pelaku industry dalam upaya memaksimalkan pemeliharaan terhadap system engine turbofan yang disertai analisa teknik ataupun ekonomis untuk menjamin suatu system dalam memperpanjang usia pakai part yang ada pada system pesawat terbang.

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan, didapatkan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan dengan cara melihat dari segi material komponen (*reliability manufacture*), dimana analisis mempertimbangkan kehandalan dari material komponen Turbo Fan CFM56-3B1.
2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menyangkut *maintenance costs*.
3. Disarankan menggunakan metode analisis yang lain sebagai pembanding.

Evaluasi tingkat kehandalan dan kegagalan perlu dikaji secara kontinu setelah terjadinya penurunan *interval* dari *effective schedule maintenance* yang telah di rekomendasikan

DAFTAR REFERENSI

- Anggara Trisna Nugraha, & Priyambodo, D. (2020). Prototype hybrid power plant of solar panel and vertical wind turbine as a provider of alternative electrical energy at Kenjeran Beach Surabaya. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 2(3), 108–113. <https://doi.org/10.35882/jeeemi.v2i3.4>
- Baihaqi, A., & Rizqullah, F. (2021). Studi keandalan komponen igniter plug pada pesawat Boeing 737-800. 1458–1466.
- Dan, E., Lepas, P., & Pt, P. (2017). Analisa komponen kritis dan penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II) (Studi Kasus: Gas Turbine Compressor (GTC) pada fasilitas. *Rcm II*.
- Hadi, M. F., & Kristanto, A. (n.d.). Pengembangan bahan ajar cetak pada mata kuliah mesin turbin untuk memfasilitasi pembelajaran di Jurusan S1 Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut Surabaya.
- Hermawan, R., Prasetyo, E., Rhakasywi, D., Artanto, A., & Pane, E. (2017). Analisa perancangan ruang bakar pada pembangkit listrik mikro turbin gas bahan bakar LPG. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, November, 1–12.
- Ikhwan Rahmadianto. (2019). Analisis kegagalan air turbine starter Boeing 777-300ER di PT GMF Aeroasia. *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 1–2.

- Island, Nadhifah, H. (2017). Kaji performa turbin gas sebelum dan setelah overhaul combustion inspection di GTG Utilitas I Pabrik PT Petrokimia Gresik. 1–67.
- Mainil, A. K. (2011). Analisa kinerja engine turbopan CFM56-3. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 78–82.
- Maryanto, T. B., Gelar, M., Satu, S., Studi, P., & Industri, T. (2014). Penentuan interval perawatan maintenance turbin gas menggunakan distribusi Weibull (Studi Kasus pada PT Pertamina Western Java Area District Tegalgede).
- Medco, E., Dengan, P. I., & Etap, M. (n.d.). Evaluasi setting proteksi arus lebih di Jene Station PT.
- Mesra, T., & Amanda, R. (2018). Maintenance pompa reciprocating 211/212 PM-4 A/B menggunakan metode RCM di PT Pertamina (Persero) Refinery Unit II Dumai. 3814, 175–183.
- Opcenska, H., & Hammer, M. (2016). Reliability centred maintenance. *MM Science Journal*, 2016(November), 1451–1455.
- Prasetyo, E., Hermawan, R., & Pane, E. A. (2022). Analisa kinerja pengembangan desain posisi ruang bakar mikroturbin gas. *14*(1).
- Rasindyo, M. R., Kusmaningrum, & Helianty, Y. (2015). Analisis kebijakan perawatan mesin Cincinnati dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance di PT Dirgantara Indonesia. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3(1), 400–410.
- Retno Aita Diantari, S. T., M. (2016). Sistem proteksi pada pesawat Boeing 737–Classic. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 8, 2.
- Taaqbier, M., Setiawan, F., & Anhar, M. (2022). Perencanaan preventive maintenance menggunakan metode reliability pada electrical sistem auxiliary power unit Boeing 737-500. *2*(1), 1–8.
- Vanni Dyah Pramesti, A. E. S. (2018). Analisis penerapan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk meningkatkan keandalan pada sistem maintenance. *Industrial Engineering Journal of The University of Sarjanawiyata Tamansiswa*, 2(1), 44–53.
- Widyoadi, M. A., Saptadi, S., & Purwaningsih, R. (2016). Perencanaan sistem pemeliharaan mesin roller head dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II). *Rcm II*, 1–10.