



Perencanaan Jadwal dan Aktivitas Pemeliharaan Auxiliary Power Unit (APU) Pesawat Boeing 737-500 Dengan Metode Reliability

(*Schedule Planning and Maintenance Activities of Auxiliary Power Unit (APU) Boeing 737-500 Aircraft With Reliability Method*)

Ferry Setiawan^{1*}, Dhimas Wicaksono², Yustina Titin Purwantiningsih³

^{1,2}S1 Teknik Dirgantara Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
E-mail: ferry.Setiawan@sttkd.ac.id, dhimas.wicaksono@sttkd.ac.id

²Prodi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: yustinastitinpurwantiningsih@gmail.com

Abstract— This study aims to plan effective maintenance schedules and activities on the auxiliary power unit system so that there will be no more failures or unplanned or sudden damage. Failures in auxiliary power unit equipment often occur in several work systems, namely electrical systems, lubrication systems and Ignition systems, where this causes considerable losses for airlines. This research method uses qualitative and quantitative approaches, qualitative analysis uses the Failure Mode Effect and Critically Analysis (FMECA) method by analyzing the factors causing failure and the effects of failure, with the results of the causes of failure in several auxiliary power unit (APU) work systems as follows: the following electrical system is on the Relay start component, the Lubrication System is on the Oil Filter component, the Ignition System is on the igniter plug. From the results of the FMECA analysis, a quantitative analysis was carried out with the analysis carried out using the reliability method, the reliability parameter was calculated by the Weibull probability distribution, to determine the critical limit of the operational time of the component or system part which is the reliability limit of an auxiliary power unit system. The critical operational limit for the electrical system is 434 flight hours, the lubrication system is 1186 flight hours, and the Ignition system is 1610 flight hours, then these results are used to determine an effective maintenance schedule supported by planning the right maintenance activities to eliminate the causes - cause of failure in auxiliary power unit equipment.

Keywords—Failure, Reliability, Weibull Distribution, Maintenance Scheduled.

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan jadwal dan aktivitas maintenance yang efektif pada sistem auxiliary power unit sehingga tidak terjadi lagi kegagalan ataupun kerusakan yang tidak direncanakan atau terjadi secara tiba – tiba. Kegagalan pada peralatan auxiliary power unit ada sering terjadi pada beberapa sistem kerja yaitu electrical system, Lubrication System dan Ignition System, di mana hal ini menimbulkan kerugian yang cukup besar bagi perusahaan penerbangan. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, analisis kualitatif menggunakan metode Failure Mode Effect and Critically Analysis (FMECA) dengan menganalisis faktor – faktor penyebab kegagalan dan efek terjadinya kegagalan, dengan hasil penyebab kegagalan pada beberapa sistem kerja auxiliary power unit (APU) adalah sebagai berikut electrical system adalah pada komponen start Relay, Lubrication System adalah pada komponen Oil Filter, Ignition System adalah pada igniter plug. Dari hasil analisis FMECA tersebut dilakukan analisis kuantitatif dengan dilakukan menggunakan metode reliability, parameter kehandalan dihitung dengan probabilitas distribusi Weibull, untuk menentukan batas kritis waktu operasional komponen ataupun part sistem yang merupakan batas kehandalan suatu sistem auxiliary power unit. Batas kritis operasional electrical system adalah sebesar 434 jam terbang, lubrication system adalah 1186 jam terbang, dan Ignition system adalah sebesar 1610 jam terbang, selanjutnya hasil tersebut di gunakan

*Penulis Korespondensi (Ferry Setiawan)
E-mail: ferry.Setiawan@sttkd.ac.id

untuk menentukan jadwal maintenance yang efektif di dukung dengan perencanaan aktifitas maintenance yang tepat untuk menghilangkan penyebab – penyebab kegagalan pada peralatan auxiliary power unit.

Kata Kunci— **Kegagalan, Kehandalan, Distribusi Weibull, Jadwal Maintenance.**

I. PENDAHULUAN

Auxiliary Power Unit (APU) adalah mesin turbin gas atau Turboshaft Engine yang berukuran lebih kecil dari mesin pesawat utamanya, fungsi utama APU adalah memberikan tenaga untuk *starting* mesin utama pesawat, pada dasarnya alat ini menghasilkan 2 tenaga yaitu *electric* dan tenaga kompresi udara (*pneumatic*), tenaga *electric* yang dihasilkan adalah 115V AC 400 Hz 3 phase yang digunakan untuk *lighting system* dan komponen yang ada pada *control panel*, tenaga kompresi udara (*pneumatic*) menghasilkan tekanan 40 psi biasanya digunakan untuk *air conditioning system* yang berfungsi mendinginkan *cabin* dan *bleed supply system* untuk *starting engine*. Saat pesawat tidak terbang atau dalam posisi *on ground* APU dapat menghasilkan tenaga *electric* dan tenaga kompresi udara (*pneumatic*) yang dapat digunakan secara bersamaan, saat kondisi pesawat *in flight* biasanya tenaga yang dihasilkan dari APU dapat digunakan secara bergantian atau bersamaan tergantung ketinggian saat terbang. [1].

APU merupakan alat cukup vital pada operasional sebuah pesawat, jika APU mengalami kegagalan sistem maka pesawat akan mengalami kondisi yang tidak menguntungkan seperti *delay*, bisa juga pesawat mengalami gagal terbang jika tidak di dukung dengan *Ground Power Unit* (GPU) atau *Ground Turbine Compressor* (GTC) sebagai alat pengganti kerja APU. Dari data yang di peroleh pada PT. MMF Surabaya peralatan APU GTCP85-129 pesawat Boeing 737-500 sering mengalami kegagalan operasional di karenakan terjadinya kerusakan mesin, antara lain pada *part/komponen electrical system, Lubrication System* dan *Ignition System*, kejadian tersebut menyebabkan *delay* karena aktivitas *unscheduled maintenance* pada operasional pesawat, sehingga maskapai mengeluarkan biaya ganti rugi pada penumpang karena keterlambatan penerbangan. Kegagalan operasional sistem APU GTCP85-129 pesawat Boeing 737-500 ini mendorong penulis melakukan penelitian untuk mengetahui faktor – faktor penyebab kegagalan dengan metode FMECA (*Failure Mode Effect and Critically Analysis*) dan merencanakan sebuah jadwal dan aktivitas maintenance yang tepat agar tidak terjadi lagi kegagalan pada operasional sistem APU GTCP85-129, jadwal maintenance ini ditentukan setelah dilakukan perhitungan nilai batas waktu kritis komponen pada masing – masing sistem kerja dengan metode *reliability*.

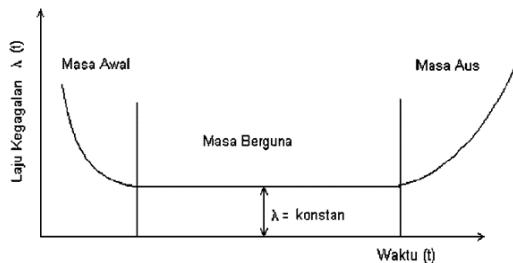
II. LANDASAN TEORI

A. Konsep Kehandalan

Keandalan atau *reliability* adalah suatu kemungkinan atau probabilitas dari komponen ataupun suatu sistem untuk dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsinya. Fungsi yang dimaksud adalah pengoperasian tertentu dalam sistem dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan, Kehandalan juga dapat di artikan sebagai sebuah kemungkinan pada suatu komponen untuk dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (*t*) atau lebih, tanpa mengalami kerusakan dan kegagalan fungsi. Oleh karena itu, evaluasi keandalan dapat memperkirakan kemungkinan ataupun peluang sebuah sistem untuk dapat melaksanakan fungsinya sesuai dengan jangka waktu yang telah ditetapkan. Meskipun suatu sistem dapat beroperasi melewati jangka waktu yang ditetapkan, sistem atau komponen masih dapat beroperasi tetapi tidak dapat memenuhi fungsinya secara maksimal karena berpotensi mengalami kegagalan[2].

B. Laju Kegagalan

Untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem atau komponen, variabel yang dipakai umumnya adalah waktu, dimana waktu kritis menandakan suatu sistem sudah dalam keadaan yang tidak handal atau berada pada zona keausan sehingga berpotensi mengalami kegagalan, waktu kritis ini



akan menjadi batasan untuk melaksanakan perawatan yang terjadwal pada suatu sistem atau komponen[3]. Keandalan dari suatu komponen atau sistem dapat diplot dalam suatu kurva dengan variabel random antara waktu dan laju kegagalan, kurva yang sering dipakai untuk menjelaskan perilaku dari komponen atau sistem adalah kurva bak mandi (*bathub curve*) yang dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini;

Gambar 1. Kurva Bak Mandi (*bathub curve*)[2]

Dari gambar 1. di atas dapat diketahui masa awal yang dikenal dengan masa *early life* menunjukkan laju kegagalan akan terus menurun seiring bertambahnya waktu operasional, masa berguna merupakan masa dimana komponen atau sistem memiliki laju kegagalan yang konstan, sedangkan masa aus atau masa *wearout zone* merupakan kondisi laju kegagalan akan terus bertambah seiring bertambahnya waktu operasional[3].

C. Analisis Kuantitatif

Analisis kualitatif dilakukan dengan perhitungan matematis yang bertujuan untuk mengetahui nilai keandalan pada suatu sistem yang dihitung dengan komponen waktu operasional (*flight hours*). Secara matematis keandalan di modelkan sebagai model distribusi kegagalan. Model distribusi tersebut antara lain;

1. Bernad's Median Rank

Dalam perhitungan dengan distribusi *weibull*, data yang digunakan terlebih dulu di ranking dari yang terkecil hingga besar dan digunakan untuk menentukan nilai parameter berupa simpangan kuadrat X dan Y, secara matematis dapat dituliskan dalam rumus di bawah ini[2]:

$$\text{BMR} = \frac{\text{Ari} - 0,3}{\text{n} + 0,4} \quad (1)$$

Keterangan:

- Ari = rank yang telah disesuaikan ke i
- n = jumlah data

2. Simpangan Kuadrat Y dan X

Merupakan parameter dari distribusi *Weibull* yang digunakan untuk menentukan shape parameter (β) dalam distribusi *weibull*, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut[2]:

$$X = \ln \text{BMR} \quad (2)$$

$$Y = \ln (\ln 1/1-\text{BMR}) \quad (3)$$

3. Laju kegagalan (*failure rate*)

Laju kegagalan menyatakan banyaknya kegagalan per satuan waktu, yang dapat dihitung dengan persamaan 4. dibawah ini[2]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

4. Peluang Waktu Kegagalan (*Unreliability*)

Merupakan sebuah proporsi pada kondisi operasi (*survivor function*) dari suatu komponen, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut[2]:

$$F(t) = Weibull.Dist f(t). \beta. \alpha \quad (5)$$

Keterangan:

- F(t) = peluang waktu kegagalan
- f(t) = Banyaknya kegagalan waktu operasi t
- $\lambda(t)$ = Laju kegagalan
- R(t) = Kehandalan terhadap waktu
- β = Shape parameter
- α = Scale parameter

5. Distribusi Weibull

Merupakan sebuah analisis pada suatu sistem atau komponen yang menghasilkan data kehandalan (*reliability*) seperti *Probability Density Function* (PDF), nilai *reliability*, *failure rate* dan MTFF. Distribusi weibull terbagi atas 2 parameter dan 3 parameter. Penelitian kali ini di gunakan distribusi *weibull* 2 parameter dengan rumus PDF distribusi *weibull* adalah[2]:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (6)$$

a). Fungsi kehandalan distribusi *weibull*:

$$R(t) = \exp \left[-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (7)$$

b). Laju kegagalan distribusi *weibull*:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (8)$$

c). Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull*:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (9)$$

D. Analisis Kualitatif

1. Failure Mode Effect and Critically Analysis (FMECA)

Metode FMECA merupakan pendekatan kualitatif yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu mendefinisikan penyebab mode kegagalan, potensi dan efeknya yang bersifat kritis[4]. FMECA mempunyai tujuan untuk mendesain suatu system dengan mempertimbangkan berbagai hal dari suatu mode kegagalan pada sebuah sistem yang terdiri dari beberapa komponen, kemudian menganalisis pengaruhnya terhadap keandalan system tersebut. Dengan penelusuran pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan *level* sistem, beberapa hal khusus yang bersifat kritis dapat dinilai, dan di laksanakan tindakan-tindakan perbaikan yang diperlukan untuk memperbaiki dan mengeliminasi probabilitas kegagalan dari mode-mode kegagalan yang bersifat kritis[4].

2. Risk Priority Number (RPN)

Risk Priority Number (RPN) adalah sebuah kolom yang memuat indikator kekeritisan untuk menentukan tindakan korektif, preventive atau tindakan pengurangan kegagalan pada sebuah sistem yang terjadi sesuai dengan mode kegagalan[4]. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan bagian dari metode analisis pada siklus FMECA, di dapat dari hasil perkalian antara beberapa komponen dalam penentuan faktor resiko. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) didapatkan dari hasil perkalian perkalian antara *severity*, *occurrence*, dan *detection*, sehingga dapat dituliskan rumusnya sebagai berikut[3]:

$$\text{RPN} = \text{SEV} \times \text{OCC} \times \text{DET} \quad (10)$$

3. Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah sistem analisis *work-site* atau disebut juga pendekatan "top down" karena penelitian ini dimulai dari tingkat kerangka kerja dari atas sampai berlanjut ke bawah. Tahap awal analisa ini adalah bukti yang dapat dikenali dari mode kegagalan (*failure*) yang berguna di kerangka kerja atau subsistem. Sebuah peristiwa puncak yang merupakan arti dari kegagalan kerangka kerja, dalam mengembangkan FTA. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logic gate*) [3].

E. System Auxiliary Power (APU) Unit Boeing 737-500

Sistem kerja APU pada dasarnya hampir sama cara kerjanya dengan *engine* pada pesawat yaitu tiga proses kerja. Proses kompresi (*compression*), proses pembakaran (*ignition*) dan ekspansi (*expansion*). Ketiga operasi APU ini masing-masing terjadi di *air intake*, kompresor (*compressor*), ruang bakar (*combustion chamber*), *turbine* dan *exhaust*. *Compresor* berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara *atmosfer* yang masuk ke dalam *compresor* di mana *temperatur* udara tersebut juga naik. Udara bertekanan dari *compresor* ini masuk kedalam ruang bakar (*combustion chamber*). Bahan bakar disemprotkan ke dalam *combustion chamber* yang di dalamnya terdapat udara bertekanan dan kemudian di nyalakan dengan suatu alat penyala (*igniter*) hingga terbakar[1]. APU terpasang pada ekor pesawat terbang yang terletak di bagian bawah seperti ditunjukkan pada Gambar 2. di bawah ini;



Gambar 2. Lokasi Auxiliary Power Unit [6]

III. MODEL YANG DIUSULKAN

A. Metode Penelitian

Untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada sistem Auxiliary Power Unit Boeing 737-500 maka penulis melakukan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan metode *Failure Mode Effect and Critically Analysis* (FMECA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA), tujuan menggunakan metode ini adalah untuk mencari penyebab kegagalan dan efek kritis dari kegagalan komponen *Auxiliary Power Unit* GTCP85-129 Boeing 737-500. Diagram pareto di gunakan dengan melihat *historical removal part* pada masing – masing sintem

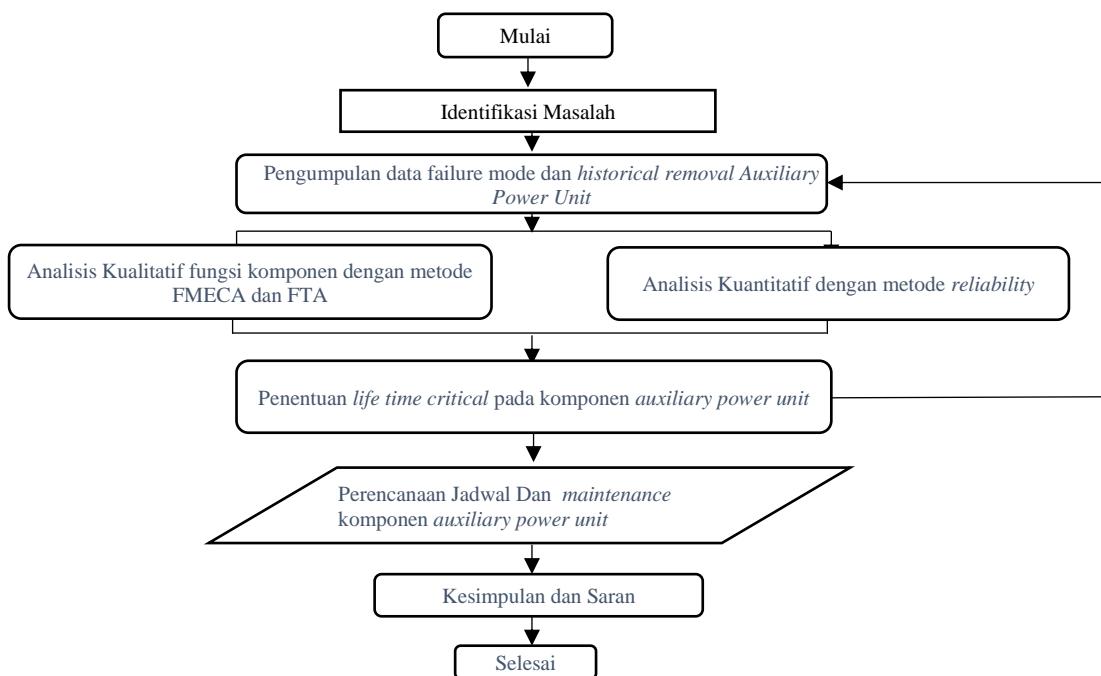
kerja, sehingga dapat di tentukan penyebab permasalahan utama pada kerusakan *part/ komponen* yang menjadi penyebab kegagalan dari masing – masing kelompok kerja pada sistem APU GTCP85-129. Analisis kuantitatif pada penelitian kali ini menggunakan metode *reliability* dengan perhitungan nya memakai *probabilitas distribusi Weibull*, perhitungan kehandalan bertujuan untuk menentukan batas waktu kritis (*critical life time*) operasional pada komponen *Auxiliary Power Unit* GTCP85-129 Boeing 737-500, sehingga hasilnya adalah penentuan jadwal perawatan yang efektif (*effective schedule maintenance*) dan merencanaan aktivitas *preventive maintenance* yang bertujuan untuk menghilangkan penyebab – penyebab kegagalan sistem (*system failure*).

B. Tempat penelitian

Tempat objek penelitian adalah PT. Merpati *Maintenance Facility* (MMF) yang terletak di area perkantoran Bandar udara Juanda, Sudimoro, Betro Kec. Sedati, Surabaya, Jawa Timur. Pengambilan data penelitian adalah pada tahun 2021 dengan data histori mesin APU GTCP85-129 di ambil mulai tahun 2018, analisis perhitungan dan pembuatan laporan di Kampus STTKD Yogyakarta.

C. Diagram alir penelitian

Diagram Alir tahapan penelitian dapat di lihat pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3 Diagram Alir Tahap Penelitian

IV. IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Dalam analisis Kualitatif data yang dibutuhkan berupa data penyebab kerusakan yang di dapat dari *Removal Data Monthly*, *Total Time Since Instal (TSI Performance)* pada komponen *Auxiliary Power Unit*, *Reason of Removal (RoR) Auxiliary Power Unit*, *Shop Finding Auxiliary Power*

Unit, dan Breakdown Part Number (BDP) Auxiliary Power Unit. Data Kuantitatif berupa data *time to failure* dan *time to repair* di dapat dari data *Historical Removal Time Since Install* atau *Cycle Since Install (TSI/CSI) Auxiliary Power Unit*, dan data *Maintenance Record Reason Of Removal* komponen *Auxiliary Power Unit* dari tahun 2018 sampai 2021.

B. Pengolahan Data Kualitatif

Pengolahan data yang di lakukan secara kualitatif terbagi menjadi pada 2 analisis, yaitu

Komponen	Componen function	Potential failure mode	Potential effect of failure
<i>Start Relay (Electric System)</i>	Menggerakan tuas saklar yang meneruskan elektrik ke starter motor dan <i>ignition System</i>	Terjadinya karbonasi yang menyebabkan loncatan elektron pada contactor pada saat posisi <i>close</i> dan <i>Open</i>	<i>Starter motor trouble</i> sehingga tidak dapat di oprasikan
<i>oil filter (Lubrication System)</i>	Agar material dapat di saring yang tidak dipakai di dalam oil yang keluar dari <i>oil pump</i> tidak masuk dalam komponen APU	<i>Crack</i> pada <i>spot welding seat assy</i> mentok di housting sebelum gasketnya	Filter bocor filter tersumbat
<i>Igniter Plug (Ignition System)</i>	Menghasilkan bunga api pada saat proses pembakaran pada APU	<i>Indicator (EGT) meter</i> tidak beroprasi semestinya	<i>Igniter cable</i> terjadi <i>over voltage</i> sehingga lilitan putus

analisis *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (FMECA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA).

1. Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Proses analisis dengan metode *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* menitik beratkan pada faktor penyebab dan pengaruh kegagalan komponen APU pada series GTCP85-129. Hasil pengolahan data dengan metode FMECA dapat di lihat pada tabel 1. di bawah ini;

TABEL 1.
DATA HASIL ANALISIS FMECA

2. Fault Tree Analysis (FTA)

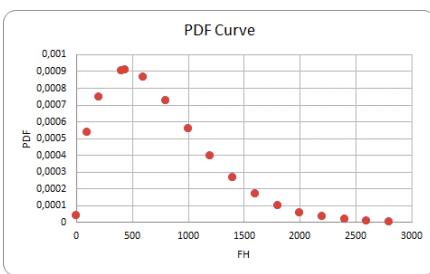
Setelah data penyebab kerusakan dari part komponen Auxiliary Power Unit maka dilakukan analisis FTA untuk mengetahui penyebab top event yang terjadi pada komponen Auxiliary Power Unit, sehingga berbagai penyebab terjadinya TOP event harus secara teliti di identifikasi. Dari analisis FTA komponen *Auxiliary Power Unit* pesawat Boeing 737-500 didapatkan *Top Event*-nya kegagalan pada *Auxiliary Power Unit*. Hal ini dapat terjadi apabila salah satu kejadian dibawah gerbang [G0] APU GTCP85-129 yaitu [G1] part *Start Relay*, [G2] part *Oil Filter*, [G3] part *Igniter Plug* terjadi kerusakan.

C. Pengolahan Data kuantitatif

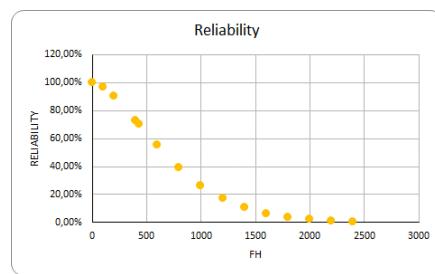
Analisis kuantitatif dilakukan dengan menggunakan analisis distribusi *weibull 2-Parameters* dimana memerlukan data *historical Time Since Install (TSI)*, dan *historical removal Breakdown Part Number (BDP)* sehingga dapat dihitung dan diketahui *Probability Density Function (PDF)*, nilai *reliability*, *failure rate* , dan *Mean Time to Failure (MTTF)*, sehingga dapat di tentukan batas waktu kritis komponen (*critical life time*).

1. Pengolahan Data *Electrical System*

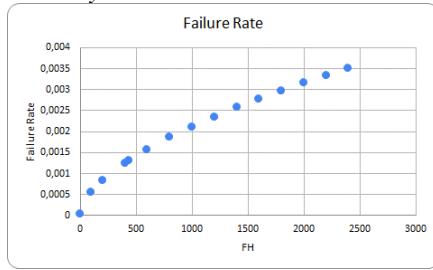
Komponen APU GTCP85-129 untuk kategori *Electrical System* akan dilakukan analisis dengan distribusi *weibull 2 parameters*, hasil berupa grafik *flight Hours vs PDF*, *flight Hours vs reliability*, *flight Hours vs failure rate* yang dapat dilihat pada gambar 4, 5, 6 di bawah ini;



Gambar 4. Grafik PDF *Electrical System*



Gambar 5. Grafik Reliability *Electrical System*

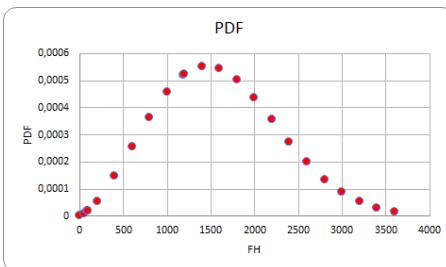


Gambar 6. Grafik Failure Rate *Electrical System*

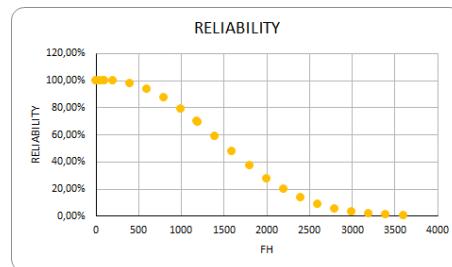
Pada angka reliability 70,03%, *Electrical System* sudah berada pada *wear-out zone* dimana kegagalan masih akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu hingga titik puncak (*peak*) sebagai batas antara *potential failure* dengan *functional failure*, sehingga *preventive maintenance* perlu diaplikasikan untuk *part/system* yang berada pada *wear-out zone*, dimana life time criticalnya adalah sebesar 434 jam terbang.

2. Pengolahan Data *Lubrication System*

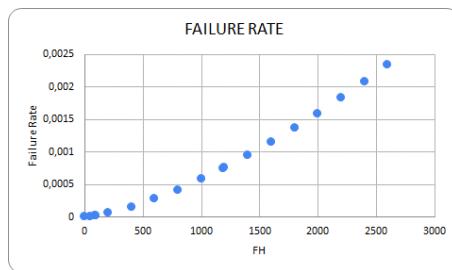
Komponen APU GTCP85-129 untuk kategori *Lubrication System* dilakukan analisis menggunakan distribusi *weibull* dengan 2 parameters, hasil berupa grafik *flight Hours* vs PDF, *flight Hours* vs reliability, *flight Hours* vs failure rate yang dapat dilihat pada gambar 7, 8, 9 di bawah ini;



Gambar 7. Grafik PDF *Lubrication System*



Gambar 8. Grafik Reliability *Lubrication System*

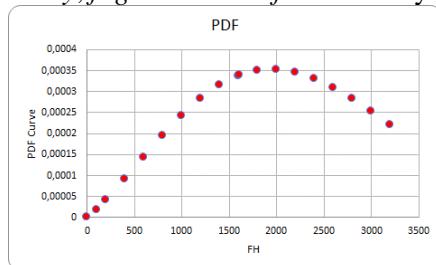


Gambar 9. Hasil Grafik Failure Rate *Lubrication System*

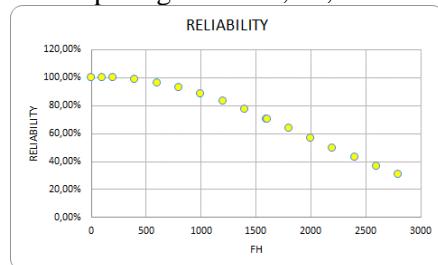
Pada angka reliability 70,02%, *Lubrication System* sudah berada pada *wear-out zone* dimana kegagalan masih akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu hingga titik puncak (*peak*) sebagai batas antara *potential failure* dengan *functional failure*, sehingga *preventive maintenance* perlu diaplikasikan untuk *part/system* yang berada pada *wear-out zone*, dimana life time criticalnya adalah sebesar 1186 jam terbang.

3. Pengolahan data *Ignition system*

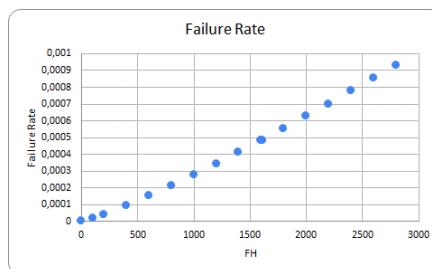
Komponen APU GTCP85-129 untuk kategori *Ignition system* di lakukan analisis menggunakan *weibull* dengan 2 parameters, hasil berupa grafik *flight Hours vs PDF*, *flight Hours vs reliability*, *flight Hours vs failure rate* yang dapat dilihat pada gambar 10, 11, 12 dibawah ini;



Gambar 10. Grafik PDF Ignition System



Gambar 11. Grafik Reliability Ignition System



Gambar 12. Grafik Failure Rate Ignition System

Pada angka reliability 70,07%, *Ignition system* sudah berada pada *wear-out zone* dimana kegagalan masih akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu hingga titik puncak (*peak*) sebagai batas antara *potential failure* dengan *functional failure*, sehingga *preventive maintenance* perlu diaplikasikan untuk *part/system* yang berada pada *wear-out zone*, dimana life time criticalnya adalah sebesar 1610 jam terbang.

D. Pengolahan Data kuantitatif

Komponen	Reason of removal	Part APU	Reliability	
			T (hours)	R (t)
Auxiliary Power Unit (APU) GTCP85-129	Electrical System	Start Relay	434	0.703
	Lubrication System	Oil Filter	1186	0.702
	Ignition System	Igniter Plug	1610	0.707

Perencanaan *maintenance* pada peralatan *Auxiliary Power Unit Unit GTCP85-129* pada penelitian kali ini adalah dari hasil perhitungan dengan metode reliability, sehingga di dapat *Critical Life Time* komponen, dimana nilai kehandalan (*reliability*) pada setiap sistem kerja di batasi pada angka minimal 0,70 atau 70% (sesuai ketetapan standart industri indonesia). Batas waktu kritis operasional (*critical life time*) komponen masing - masing system kerja dapat di lihat pada tabel 2. Berikut;

TABEL 2.

CRITICAL LIFE TIME KOMPONEN AUXILARY POWER UNIT***E. Penentuan Jadwal Dan Aktivitas Maintenance***

Perencanaan *preventive maintenance* mencakup aktivitas inspeksi, Testing, repair, dan cleaning sesuai kerusakan part atau bagian yang telah diketahui, berdasarkan dokumen komponen *Auxiliary Power Unit* GTCP85-129 berupa *Component Maintenance Manual* (CMM), Aircraft Maintenance Manual, hasil dari perencanaan jadwal dan aktivitas *preventive maintenance* di katagorikan pada setiap sistem kerja sebagai berikut ini ;

1. Electrical System

Jadwal *maintenance* didapatkan dari hasil perhitungan *reliability* sehingga di ketahui batas waktu kritis operasional komponen, dimana untuk *Electrical System* yaitu = 434 jam operasional, dengan perencanaan aktivitas *preventive maintenance* yang akan di lakukan dapat di lihat pada tabel 3. sebagai berikut;

TABEL 3.
JADWAL MAINTENANCE ELECTRICAL SYSTEM

<i>Maintenance</i> Setiap 434 jam operasional					
<i>Breakdown Part</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Inspection</i>	<i>Repair</i>	<i>Testing</i>	<i>Cleaning</i>
<i>Start Relay</i>	Terjadinya karbonasi yang menyebabkan loncatan electron pada kontaktor pada saat posisi <i>close and open</i>	<i>Cable connector</i> rusak dan coil Lilitan rusak	Pergantian part start relay R5	Memeriksa rangkaian dari <i>start relay</i> R5 pada terminal X2 jika masih ada terminal yang <i>negative</i> , maka akan di <i>replace</i> (Pergantian part)	Bersihkan dengan TT-1-735 <i>isopropyl alcohol</i>

2. Lubrication System

Jadwal *maintenance* didapatkan dari hasil perhitungan *reliability* sehingga di ketahui batas waktu kritis operasional komponen, dimana untuk *Lubrication System* yaitu = 1186 jam operasional, dengan perencanaan aktivitas *preventive maintenance* yang akan di lakukan dapat di lihat pada tabel 4. sebagai berikut;

TABEL 4.
JADWAL MAINTENANCE LUBRICATION SYSTEM

<i>Maintenance</i> Setiap 1186 jam operasional					
<i>Breakdown Part</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Inspection</i>	<i>Repair</i>	<i>Testing</i>	<i>Cleaning</i>
<i>Oil filter</i>	<i>Crack pada spot welding</i> , seat assy mentok di houstring sebelum gasketnya	Periksa (<i>Visual check</i>) pada pipa external APU pada komponen apakah terjadi kebocoran	Pergantian part oil filter	<i>Check</i> volume oil pada oil Level dan oil tank pada saat APU menyala	Bersihkan tutup filter oli dengan kain bebas serat, dibuat lembab dengan pelarut B00722

3. Ignition System

Jadwal *maintenance* di dapatkan dari hasil perhitungan *reliability* sehingga di ketahui batas waktu kritis operasional komponen, dimana untuk *Ignition System* yaitu = 1610 jam operasional, dengan perencanaan aktivitas *preventive maintenance* yang akan di lakukan dapat di lihat pada tabel 5. sebagai berikut;

TABEL 5.
JADWAL MAINTENANCE IGNITION SYSTEM

<i>Maintenance</i> Setiap 1610 jam jam operasional					
<i>Breakdown Part</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Inspection</i>	<i>Repair</i>	<i>Testing</i>	<i>Cleaning</i>
<i>Igniter plug</i>	<i>Igniter cable</i> terjadi <i>over voltage</i> sehingga lilitan putus	Periksa bagian-bagian steker penyala yang bukan logam untuk Cacat retak dan kabel putus	Penggantian part <i>igniter cable</i>	Pada saat pintu <i>inlet open</i> Lakukan pemeriksaan pada <i>ignitor</i> unit jika terjadi tegangan DC lebih dari pada 11 V, maka terjadi <i>over voltage</i> pada circuit	Keringkan steker penyala dengan sumber udara bersih, STD-6935

V. KESIMPULAN

Mode kegagalan (*failure mode*) yang terjadi pada komponen *Auxiliary Power Unit GTCP85-129* pesawat Boeing 737-500 dianalisis berdasarkan metode *FMECA* dan *FTA* dimana terdapat 3 mode kegagalan, mode kegagalan tersebut antara lain *electrical system* pada komponen *start Relay*, *Lubrication System* pada komponen *Oil Filter*, *Ignition System* pada komponen *igniter plug*. Jadwal dan aktifitas *maintenance* ditentukan dari hasil perhitungan *reliability* untuk mengetahui batas waktu kritis operasional beberapa sistem kerja pada peralatan *Auxiliary Power Unit GTCP85-129* pesawat Boeing 737-500. Hasil nya adalah penentuan jadwal dan aktifitas *maintenance* dimana untuk *electrical system* adalah 434 Jam terbang dengan nilai *reliability* 70.03% (t), *lubrication system* adalah 1186 jam terbang dengan nilai *reliability* 70.02 % (t), *Ignition system* adalah 1610 jam terbang dengan nilai *reliability* 70.07% (t).

Saran bagi penelitian selanjutnya yang akan meneliti tentang penentuan jadwal *maintenance* dengan konsep *reliability* adalah menggunakan metode kualitatif selain *FMECA* atau mengkolaborasikan dengan metode yang lain sehingga penentuan aktifitas *maintenance* untuk mencegah kegagalan biasa lebih akurat dan lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta dan Akademi Angkatan Udara atas terbitnya naskah ini pada Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia 2021 sebagai bagian kolaborasi/kerjasama penelitian antara STTKD Yogyakarta dan AAU.

REFERENSI

- [1] Ilham, "Lubrication System Pada Auxiliary Power Unit (APU)," *Lubr. Syst. Pada Aux. Power Unit (Gtc P85 129 Pesawat Boeing 737 300/400/500, vol. 3, no. 1, pp. 41–56, 2016.*
- [2] C. E. Ebeling, "Intro to Reliability & Maintainability Engineering." p. 486, 1997.
- [3] W. Zimmer, "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering," *J. Qual. Technol., vol. 31, no. 4, pp. 464–466, 1999, doi: 10.1080/00224065.1999.11979954.*
- [4] F. Setiawan, E. Sofyan, and D. M. C. Putra, "Analisis Reliability Sistem Starter Valve Untuk Merencanakan Aktivitas Maintenance Pada Pesawat Boeing 737 Next Generation Di PT. GMF," *JurnalTeknika STTKD vol. 6, no. 02, pp. 92–103, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.sttkd.ac.id/index.php/ts/article/view/272>.*
- [5] Aircraft Maintenance Manual (AMM). Rev 15 Oktober 2019. ATA 80 Engine Starting. Chicago Amerika. Boeing 737-600/700/800/900.
- [6] Cyrilus. (2012). Analisis Terhadap Starter Motor Auxiliary Power Unit 85 / 129E Saat on Pada Pesawat Boeing 737-300 / Pk-Yvw. Analisis Terhadap Starter Motor Auxiliary Power Unit 85/129E Saat on Pada Pesawat Boeing 737, 2(2),15–18
- [7] 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.
- [8] Opocenska, H., & Hammer, M. (2016). Reliability centred maintenance. MM ScienceJournal, 2016(NOVEMBER) ,1451–1455.
- [9] 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, 03(1), 400–410.
- [10] Nasution, S., & Razali. (2019). Analisa Kegagalan Cylinder Head Mesin Diesel Komatsu dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMECA) Dimegapower PLTD Bengkalis. 2012, 236–242.
- [11] Djunaidi, M., & Ryantaffy, A. K. (2018). Analisis Nonconforming Part pada Wing Structure Pesawat Cn-235 Dengan Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis). *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), 67.
- [12] Angelina S. 2016. Lifetime Prediction Dari Honeywell Brake Akibat Pembebatan Pada Pesawat Boeing 737 Next Generation di PT GMF AeroAsia. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November
- [13] Smith A. 1992. Reliability Centered Maintenance. US Amerika. The McGraw-Hill Companies.
- [14] Waroy M, Budiarto U dan Kiryanto. 2016. Analisa Perawatan Berbasis Kehandalan Pada Fuel Oil System KM. Bukit Siguntang Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Semarang. Universitas Diponegoro.
- [15] Wirardi A. 2019. Studi Kasus Penentuan Interval Waktu Optimum Perbaikan Komponen Precooler Pesawat Bombardier CRJ 1000 Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Di PT GMF AeroAsia. Bandung. Universitas Nurtanio (UNNUR)
- [16] Nugraha, Furqon Gilang. 2017. "Evaluasi Reliability Engine Fuel and Control Pada Pesawat Boeing 737-800 Garuda Indonesia di PT. GMF Aeroasia Cengkareng." Skripsi. Surabaya: ITS.
- [17] Gupita, S. A. N. (2016). Lifetime Prediction dari Honeywell Brake akibat Pembebatan pada Pesawat Boeing 737- NG di PT. GMF AEROASIA. 6. 1-34.
- [18] Kurniawan, F. (2013). Manajemen Perawatan Industri. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- [19] Susanto, B. S. P. (2017). Penjadwalan Waktu Optimum Maintenance Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Universitas Muhammadiyah Malang.