

**MENGHITUNG BESAR BIAYA (*COST*) DARI PERANCANGAN PERAWATAN
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* PADA
FUEL BOOST PUMP PESAWAT BOEING 737-400**

ARTIKEL ILMIAH

**Untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan
Jenjang Sarjana Program Studi Teknik Dirgantara**



Oleh:

OCTALINE PUTRI EFMA

180102003

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK DIRGANTARA SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI
KEDIRGANTARAAN**

YOGYAKARTA

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

Artikel ilmiah dengan judul

**MENGHITUNG BESAR BIAYA (*COST*) DARI PERANCANGAN PERAWATAN
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* PADA
FUEL BOOST PUMP PESAWAT BOEING 737-400**

Disusun oleh:

Nama: Octaline Putri Elma

NIT : 180102003

Telah Disetujui dan disahkan oleh Program Studi Teknik Dirgantara Sekolah Tinggi
Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta.

Yogyakarta, 3 Oktober 2022

Dosen Pembimbing 1



(Reo Yudhono, S.T., M.Eng)

NIDN. 0529048403

Dosen Pembimbing 2



(Arfie Armelia Erlissoma, S.T., M.Sc)

NIDN. 0531038902

Ketua Program Studi

(Haris Ardianto S.T., M.Eng)

NPP. 1105201516

**MENGHITUNG BESAR BIAYA (COST) DARI PERANCANGAN PERAWATAN
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* PADA
FUEL BOOST PUMP PESAWAT BOEING 737-400**

***COST CALCULATION OF THE MAINTENANCE PLAN USING THE RELIABILITY-
CENTERED MAINTENANCE METHOD ON BOEING 737-400 FUEL BOOST PUMP***

Octaline Putri Efma¹⁾, Reo Yudhono²⁾, Arfie Armelia Erissonia³⁾

Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

octalineputri@gmail.com

Abstrak

Pada kendaraan umumnya, diperlukan suatu sistem yang mengatur distribusi dari bahan bakar. Begitu juga pada kendaraan udara, salah satunya pesawat terbang, diperlukan suatu sistem yang mengatur pendistribusian bahan bakar untuk mendapatkan sistem yang efisien. Selain itu, mesin ini juga mengirimkan bahan bakar yang diperlukan untuk komponen atau sistem pesawat udara yang lain yang membutuhkan bahan bakar untuk menjalankan operasinya (Boeing 737-400 Aircraft Maintenance Manual). Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu aset fisik dapat berlangsung memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya atau suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi maintenance untuk memaksimalkan life time dan fungsi sistem dengan minimum cost. Pada penelitian ini akan membahas mengenai cara menentukan jenis yang sesuai dari segi analisa kualitatif dengan mengaplikasikan metode Reliability Centered Maintenance, cara menghitung besar biaya (cost) dari perancangan perawatan hasil analisa keandalan. Berdasarkan hasil pengujian Berdasarkan dari 7 komponen yang ada dalam penelitian, berikut adalah penjadwalan perawatan yang paling tepat: Fuel Pump harus dilakukan scheduled restoration task setiap 3500 jam operasi, IDG Oil Cooler harus dilakukan scheduled restoration task setiap 5500 jam operasi, Servo Fuel Heater harus dilakukan scheduled restoration task setiap 6000 jam operasi, Electronic Engine Control harus dilakukan scheduled oncondition task setiap 3500 jam operasi, Hydro-mechanical Unit harus dilakukan scheduled restoration task setiap 3000 jam operasi, Fuel Flow Transmitter harus dilakukan scheduled oncondition task setiap 6500 jam operasi Fuel Flow Differential Pressure Switch harus dilakukan scheduled on-condition task setiap 1000 jam operasi. Pada analisis pembiayaan preventive maintenance yang dilakukan pada saat nilai kehandalan mencapai 70%, 60% dan 50% berturut-turut diperoleh pada masing-masing komponen. Pada Fuel Pump diperoleh Rp 11.642.868 ; Rp 10.749.527 dan Rp 9.909.391. Pada IDG Oil Cooler diperoleh Rp 1.067.580 ; Rp 951.949 dan Rp 815.455. Pada Servo Fuel Heater diperoleh Rp 1.057.352 ; Rp 1.041.884 dan Rp 963.035. Pada Electronic Engine Control diperoleh Rp 16.287.251 ; Rp 12.796.609 dan Rp 11.167.190. Pada Hydro-mechanical Unit diperoleh Rp 4.109.764 ; Rp 3.495.759 dan Rp 2.700.898. Pada Fuel Flow Transmitter diperoleh Rp 701.148 ; Rp 584.608 dan Rp 465.125. Pada Fuel Flow Differential Pressure Switch diperoleh Rp 5.002.049 ; Rp 4.405.278 dan Rp 3.701.778.

Kata kunci: Biaya, Perawatan , Boeing 737-400, RCM.

Abstract

In general vehicles, we need a system regulating fuel distribution. Likewise, for air vehicles, one of which is airplanes, we need a system that regulates the distribution of fuel to get an efficient system. In addition, this engine also delivers the necessary fuel for other aircraft components or systems that require fuel to run their operations (Boeing 737-400 Aircraft Maintenance Manual). Reliability Centered Maintenance (RCM) is a process used to determine what must be done to ensure that a physical asset can continue to fulfill the expected function in the context of its operation or a maintenance approach that combines maintenance practices and strategies to maximize lifetime and system function by minimum cost. In this study, we will discuss how to determine the appropriate type in terms of qualitative analysis by applying the Reliability Centered Maintenance method and calculating the cost of the maintenance design as a result of reliability analysis. Based on the test results Based on the 7 components in the study, the following is the most appropriate maintenance schedule: Fuel Pump must be scheduled restoration task every 3500 hours of operation, IDG Oil Cooler must be scheduled restoration task every 5500 hours of operation, Servo Fuel Heater must be performed scheduled restoration task every 6000 hours of operation, Electronic Engine Control must be scheduled on condition task every 3500 hours of operation, Hydro-mechanical Unit must be scheduled restoration task every 3000 hours of operation, Fuel Flow Transmitter must be scheduled on condition task every 6500 hours of operation Fuel Flow Differential Pressure Switch must be scheduled on-condition task every 1000 hours of operation. In the analysis of preventive maintenance financing, which is carried out when the reliability value reaches 70%, 60%, and 50%, respectively, it is obtained for each component. For the Fuel Pump, IDR 11,642,868 was obtained; Rp 10,749,527 and Rp 9,909,391. At IDG Oil Cooler, Rp 1,067,580 was obtained; IDR 951,949 and IDR 815,455. In Servo Fuel Heater, Rp. 1,057,352 is obtained; IDR 1,041,884 and IDR 963,035. For Electronic Engine Control, Rp. 16,287,251 was obtained; Rp 12,796,609 and Rp 11,167,190. In the Hydro-mechanical Unit, Rp 4,109,764 was obtained; IDR 3,495,759 and IDR 2,700,898. For the Fuel Flow Transmitter, Rp. 701,148 is obtained; IDR 584,608 and IDR 465,125. For the Fuel Flow Differential Pressure Switch, Rp 5.002.049 is obtained; IDR 4,405,278 and IDR 3,701,778.

Keywords: *Cost, Maintenance, Boeing 737-400, RCM.*

Pendahuluan.

Pada kendaraan umumnya, diperlukan suatu sistem yang mengatur distribusi dari bahan bakar. Begitu juga pada kendaraan udara, salah satunya pesawat terbang, diperlukan suatu sistem yang mengatur pendistribusian bahan bakar untuk mendapatkan sistem yang efisien.

Fuel system adalah sistem yang berperan mentransfer bahan bakar dari tank menuju *engine* guna mendapatkan proses pembakaran yang maksimal. Dengan maksimalnya proses pembakaran, diharapkan *engine* dapat menghasilkan performa yang diinginkan. Berikut akan dijelaskan tentang prinsip kerja *fuel* system, yaitu: awalnya, bahan bakar yang tersimpan di tank akan dipompa oleh booster pump menuju *fuel filter*. Ketika di *fuel filter*, bahan bakar akan disaring agar tidak ada kotoran yang masuk ke *fuel system*. Setelah melewati *filter*, *bahan bakar* akan mengalir ke *heater oil to fuel (fuel heat exchanger)* yang berfungsi memanaskan bahan bakar.

Mesin dan kontrol bahan bakar merupakan sistem mesin bahan bakar dan sistem kontrol bahan bakar yang bertugas untuk mendistribusikan bahan bakar dari tangki penyimpanan bahan bakar, menghitung dan mengindikasikan kuantitas bahan bakar yang diperlukan untuk menggerakkan pesawat terbang. Mesin dan kontrol bahan bakar kemudian mengukur bahan bakar dan menyalurkan ke dalam ruang bakar (combuster). Selain itu, mesin ini juga mengirimkan bahan bakar yang diperlukan untuk komponen atau sistem pesawat udara yang lain yang membutuhkan bahan bakar untuk menjalankan operasinya (Boeing 737-400 Aircraft Maintenance Manual).

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu aset fisik dapat berlangsung memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya atau suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi maintenance untuk memaksimalkan life time dan fungsi sistem dengan minimum cost. Metode RCM dapat menganalisa fungsi komponen, jenis kerusakan yang terjadi, serta efek yang ditimbulkan akibat kerusakan

Dalam penelitian ini akan membahas mengenai cara menentukan jenis yang sesuai dari segi analisa kualitatif dengan mengaplikasikan metode Reliability Centered Maintenance dan cara menghitung besar biaya (cost) dari perancangan perawatan hasil analisa keandalan.

Tinjauan Pustaka

David L. Greene (1990) meneliti tentang potensi untuk meningkatkan efisiensi mesin pesawat komersial tersebut. Penelitian tersebut menunjukkan beberapa peningkatan besar dalam bidang efisiensi mesin, perubahan aerodinamis, dan struktural pesawat. Pesawat yang lebih besar dapat membawa lebih banyak penumpang sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar pada pesawat serta mengurangi kemacetan di bandara utama dan mengurangi waktu holding sebelum mendarat atau waktu idling sebelum lepas landas.

P. Jannus, dkk (2019), melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Simulator Fuel System Pesawat Terbang Boeing 737-800”. Penelitian ini mengkaji tentang rancang bangun alat simulasi mengenai sistem bahan bakar yang ada di pesawat dengan menggunakan material akrilik yang bening pada tangki dan pipa saluran bahan bakarnya sehingga proses simulasi alirannya terlihat. Namun simulasi yang dilakukan masih mengalami kekurangan seperti APU fuel feeding dan bypass valve, karena merupakan pesawat besar yang sistem bahan bakarnya lebih rumit daripada pesawat kecil.

Nur feriyanto et al (2016), tentang “The Route Analysis Based On Flight Plan” menghasilkan penelitian dengan menyelidiki rute terbaik berdasarkan kinerja penerbangan dengan menentukan jumlah blok fuel untuk penerbangan rute JakartaDenpasar. Dengan data aktual rencana penerbangan dan hasil perhitungan serta pembahasan pada block fuel pesawat jenis B737-400 dan A320-200, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan Blok fuel A320-200 (pesawat baru) lebih kecil dari 8-10% blok fuel dari B737-400 12-27% (pesawat baru). Hal ini memberikan makna bahwa pesawat jenis A320-200 lebih hemat bahan bakar.

Nurdiansyah (2020), melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Perbaikan Rancang Bangun Panel Dinding Simulasi Sistem Bahan Bakar Pesawat Udara”. Dalam penelitiannya dibuat sebuah panel dinding yang mensimulasikan mekanisme kerja sistem bahan bakar dari pesawat Cessna 172N menggunakan lampu LED strip.

Landasan Teori

Mesin dan Kontrol Bahan Bakar

Mesin dan kontrol bahan bakar (engine fuel and control) adalah mesin bahan bakar dan sistem kontrol yang bertugas untuk menghitung kuantitas bahan bakar yang diperlukan untuk menggerakkan pesawat terbang. Engine fuel and control kemudian mengukur bahan bakar dan menyalurkan ke dalam ruang bakar (combuster) serta mendistribusikan bahan bakar yang diperlukan oleh sistem mesin pesawat seperti auxiliary power unit (APU), power plant, engine dan lain-lain sehingga operasi mesin dapat bekerja secara efisien dan stabil. Engine fuel and control pada engine jenis CFM56-3B-2 terdiri atas 3 subsistem, yaitu: Distribusi bahan bakar (Fuel Distribution), Pengontrolan bahan bakar (Fuel Control), Indikator bahan bakar (Fuel Indicating).

Engine Tipe CFM56-3B-2

Engine CFM56-3B-2 merupakan mesin jet *turbofan* dengan kapasitas *bypass* yang besar, dual rotor yang digunakan dengan teknologi *advance aksial flow* yang dirancang untuk digunakan pada pesawat terbang jenis BOEING737 dan semua variannya. *Engine* CFM56-3B-2 adalah produk dari CFM *INTERNATIONAL* dimana merupakan perusahaan gabungan antara *GENERAL ELECTRIC AIRCRAFT ENGINE* (GE) Amerika dengan perusahaan SNECMA Perancis.

Fuel System

Fuel system adalah sistem pengisian, penyimpanan dan pendistribusian fuel ke sistem engine dan APU. Pada normalnya ada 3 tangki Fuel yang ada di pesawat yaitu tank 1 yang berada di kiri sayap, Tank 2 yang ada di kanan sayap dan center tank yang berada di tengah sayap. Masing-masing dilengkapi dengan electrical boost pump. Pompa ini mendistribusikan fuel di bawah tekanan ke Engine dan APU. Fuel yang di muat ke pesawat dari ground akan melalui sebuah katup fueling di bagian fueling yang bertekanan.

Fuel Booster Pump

Fuel Booster Pump adalah salah satu komponen/objek yang pokok dalam setiap proses pemindahan fluida untuk disalurkan ke komponen lainnya. Booster pump berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dalam keadaan bertekanan positif sehingga bahan bakar yang akan disalurkan menuju mesin mempunyai tekanan dan laju aliran yang stabil atau teratur.

Konsep Reliability

Reliability atau keandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya. Fungsi tersebut telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan pula. Jadi, keandalan adalah kemungkinan untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih. Keandalan komponen, subsistem atau sistem produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kesuksesan proses produksi. Evaluasi keandalan dapat membantu dalam memperkirakan peluang sebuah sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu pula.

Fungsi Reliability

Fungsi reliability adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan reliability dengan waktu. Nilai fungsi reliability merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi reliability (R) bernilai $0 \leq R \leq 1$ (Ebeling, 1997). Fungsi reliability dinotasikan sebagai R(t) dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian $[0, t]$. Parameter yang akan diukur di dalam pengolahan data yaitu laju kegagalan komponen. Parameter tersebut merupakan variable random yang dapat didefinisikan secara kontinyu. Konsep waktu dalam reliability adalah TTF (time to failure). TTF sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan.

(Ebeling, 1997) Perhitungan nilai keandalan secara umum, menggunakan persamaan berikut ini:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt$$

Ketersediaan (Availability)

(Ebeling, 1997) Availability adalah kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, kemampuan perawatan, dukungan perawatan). Availability juga dapat diartikan sebagai ketersediaan suatu komponen dalam kurun waktu tertentu. Availability yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini :

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right]$$

Keterawatan (Maintainability)

(Ebeling, 1997) Maintainability merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk diperbaiki pada keandalan semula dalam kurun waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Maintainability mempunyai rumus yang berbeda-beda pada setiap distribusi datanya. Nilai maintainability dapat ditulis seperti persamaan berikut ini :

$$M(t) = \varphi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)$$

Laju Kegagalan (Failure Rate)

(Ebeling, 1997) Laju kegagalan atau biasa yang disebut dengan Failure Rate merupakan banyaknya terjadi kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dengan total waktu operasi suatu komponen atau pun sistem. Laju kegagalan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\lambda = \frac{f}{T}$$

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

Distribusi Normal

(Ebeling, 1997) Distribusi normal atau juga disebut distribusi gaussian adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan tentang penyebaran data. Probability Density Function (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (mean). Dispersi terhadap nilai rata-rata distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi (σ). Dengan kata lain parameter distribusi normal adalah mean dan standar deviasi (σ). Probability Density Function (PDF) dari distribusi normal dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

Distribusi Lognormal

(Ebeling, 1997) Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma T memiliki distribusi normal. Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi lognormal ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan langkah apa yang harus dilakukan untuk menjamin suatu aset fisik. Harapannya agar asset tersebut dapat berjalan dengan baik dan terus memenuhi fungsi yang diharapkan oleh penggunaannya. Metode RCM digunakan untuk menganalisa fungsi komponen, jenis kerusakan yang terjadi, efek yang ditimbulkan akibat kerusakan, serta tindakan yang harus diberikan untuk mengantisipasi jenis kerusakan pada komponen kritis yang terdapat dalam suatu sistem.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu teknik manajemen kegagalan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan suatu aset yang tidak mampu melaksanakan fungsinya sesuai dengan yang diharapkan oleh pengguna. Failure mode bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi, sedangkan failure effect menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila failure mode telah terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, failure mode, dan failure effect sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset. Efek kegagalan tingkat lokal akan menyebabkan komponen tidak memenuhi fungsinya dengan baik.

Pembiayaan Maintenance

Pembiayaan maintenance digunakan untuk mengetahui berapa banyak cost yang dikeluarkan perusahaan pada saat komponen mengalami kegagalan. Preventive cost (biaya perawatan) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan. Sedangkan failure cost (biaya kerusakan) merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti waktu

produksi sedang berjalan. Untuk menghitung total biaya saat perbaikan dan preventive rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$C_R = CC + ((C_w + C_o) \times MTTR)$$

Metode Penelitian

Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian pada tugas akhir ini menggunakan metode studi lapangan, studi literature dan analisis permasalahan pada Boeing 737-400.

Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta (STTKD)

Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 April sampai dengan tanggal 30 Mei 2022

Hasil dan Pembahasan

Penentuan Jenis Perawatan Dari Segi Analisis Kualitatif Dengan Cara Pengaplikasian Metode Reliability Centered Maintenance

Evaluasi Kualitatif Fuel Pump Fungsi dari komponen Fuel Pump ini adalah untuk menerima pasokan bahan bakar (fuel) dari tangki penyimpanan bahan bakar pesawat, memberikan tekanan pada bahan bakar sebelum kemudian mendistribusikan bahan bakar menuju komponen HMU untuk selanjutnya dialirkan menuju combustion chamber. Tabel 4.1 menunjukkan hasil FMEA dari komponen Fuel Pump.

Tabel 4. 1 FMEA Fuel Pump

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	Internal Leakage	Seal dan packing pada pompa aus	Pompa tidak mampu memberikan tekanan yang maksimum (minimum 1000psi)
2	Low fuel pressure	Bearing dan gear aus akibat korosi dan kavitasi	uplai fuel tidak maksimum dan pembakaran tidak sempurna
3	No fuel flow	Terjadi korosi yang besar pada bearing hingga terjadi	Fuel yang mengalir sedikit bahkan tidak ada dan pembakaran tidak sempurna

		kebocoran	
4	Over fuel pressure	Fuel filter mengalami clogging karena kontaminan	Merusak komponen fuel system dan angka penggantian part jadi tinggi

Evaluasi Kualitatif IDG Oil Cooler merupakan salah satu komponen penukar panas yang digunakan dalam sistem ini, yang berfungsi untuk menjaga temperatur oli pada IDG agar tidak meningkat, serta memanaskan fuel pada mesin agar memastikan tidak ada lagi gumpalan es yang terbentuk yang menyebabkan clogging. Tabel 4.3 menunjukkan hasil FMEA dari komponen IDG Oil Cooler.

Tabel 4.2 FMEA IDG Oil Cooler

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	Very Low Temperature	Elemen penukar panas out of maintenance	Fuel yang mengalir ke fuel nozzle mengandung gumpalan es

Evaluasi Kualitatif Servo Fuel Heater merupakan salah satu komponen penukar panas yang digunakan dalam sistem ini, yang berfungsi untuk memanaskan pasokan fuel yang menuju servo system pada HMU, Servo Fuel Heater menggunakan pemanas temperatur oli scavenge untuk meningkatkan temperatur fuel yang menuju ke servo. Tabel 4.5 menunjukkan hasil FMEA dari komponen Servo Fuel Heater.

Tabel 4.3 FMEA Servo Fuel Heater

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	Servo Fuel Heater	Elemen penukar panas out of maintenance	Fuel yang mengalir terdapat butiran es

Evaluasi Kualitatif Electronic Engine Control (EEC) merupakan komponen pengendali dalam pendistribusian fuel pada sistem ini, yang berfungsi sebagai pengendali utama sistem mesin, manajemen power pada mesin, pada intinya seluruh komponen pada mesin terintegrasi dengan komponen Electronic Engine Control. Tabel 4.7 menunjukkan hasil FMEA dari komponen Electronic Engine Control.

Tabel 4.4 FMEA Electronic Engine Control (EEC)

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
-------------------	--	----------------	----------------

1	EEC bite not operate	Terjadi kesalahan pada konektor antara EEC dan komponen lain	EEC tidak dapat mengirim dan menerima sinyal informasi
2	EEC internal fault	Komponen internal elektronik mengalami kerusakan	EEC tidak dapat mengindikasikan dalam suatu keadaan
3	EEC over temperature	Lapisan pelindung eksternal EEC terjadi kebocoran	Komponen internal elektronik mudah mengalami kerusakan

Evaluasi Kualitatif Hydro-mechanical Unit (HMU) merupakan komponen pengendali akan tetapi bersifat mekanikal, yang berfungsi mengontrol jumlah konsumsi fuel yang dibutuhkan mesin menjaga kecepatan putaran mesini, serta mengukur laju aliran fuel yang menuju pada fuel nozzles. Tabel 4.9 menunjukkan hasil FMEA dari komponen Hydro-mechanical Unit.

Tabel 4.5 FMEA Hydro-mechanical Unit (HMU)

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	High fuel flow	Valve yang mengatur aliran fuel di HMU tidak berfungsi baik	Menimbulkan high EGT dan slow to decelerate
2	Low speed	Terjadi kelonggaran antara bagian konektor HMU	Menyebabkan mesin slow to accelerate
3	System generator tidak berfungsi	Terjadi kegagalan fungsi pada system governor di HMU	Performa engine menjadi tidak stabil dalam operasinya

Evaluasi Kualitatif fuel flow transmitter merupakan salah satu komponen instrumentasi yang mendukung proses pendistribusian fuel, sebelum fuel menuju fuel nozzles untuk selanjutnya menuju combustion chamber. Fuel Flow Transmitter ini berfungsi untuk memberikan sinyal kepada HMU atas perintah EEC. Tabel 4.11 menunjukkan hasil FMEA dari komponen Fuel Flow Transmitter.

Tabel 4.6 FMEA Fuel Flow Transmitter

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	Abnormal instrument reading	Konektor kendur dan terdapat campuran kotoran dalam fuel	Terjadi kesalahan dalam menentukan jumlah fuel yang dibutuhkan

Evaluasi Kualitatif Fuel Flow Differential Pressure Swicth (FFDPS) merupakan salah satu komponen instrumentasi yang mendukung proses pendistribusian fuel, FFDPS ini berfungsi untuk mengindikasikan jika fuel filter mengalami clogging dan menginformasikan agar valve bypass terbuka otomatis. Tabel 4.13 menunjukkan hasil FMEA dari komponen FFDPS.

Table 4.7 FMEA Fuel Flow Differential Pressure Switch

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	False failure indication	Kerusakan pada FFDPS dan konektor tidak terpasang baik	Terjadi kesalahan indikasi yang menimbulkan false alarm pada cockpit
2	Actual failure indication	Banyak campuran kotoran yang menyumbat pada fuel filter	Aliran fuel tidak lagi tersaring fuel filter meainkan langsung bypass

Menghitung Besar Biaya (Cost) Dari Perencanaan Perawatan Hasil Analisa Keandalan

Berdasarkan pada data-data pendukung yang diambil, untuk penentuan perhitungan biaya kegagalan yang didapatkan yaitu merupakan seluruh komponen-komponen biaya yang muncul akibat terjadinya kegagalan. Berikut ini merupakan analisis perhitungan biaya untuk preventive maintenance pada sistem Engine Fuel and Control.

Biaya Pewartan (C_M) terdiri dari biaya tenaga kerja (upah lembur) dan treatment cost misalnya untuk minyak pelumas, dan penggantian komponen kecil seperti sekrup, mur, dan baut. Kegiatan perawatan pencegahan dilakukan diluar jam operasi. Karena perawatan pencegahan dilakukan diluar jam kerja normal maka biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur yaitu Rp.1.750.000,00.

Biaya Perbaikan (C_R) timbul akibat adanya komponen komponen dari sistem Engine Fuel and Control yang mengalami kerusakan membutuhkan service perbaikan atau perbaikan komponen. Biaya perbaikan (C_R) terdiri dari biaya tenaga kerja (C_W), biaya pemulihan atau

pergantian komponen (C_C) dan biaya konsekuensi operasional akibat tidak beroperasinya mesin (C_O).

Biaya Tenaga Kerja (C_W) Biaya tenaga kerja merupakan biaya tenaga kerja yang dialokasikan untuk melakukan tindakan maintenance selama terjadinya kerusakan pada komponen sistem Engine Fuel and Control. Tenaga kerja yang ditugaskan untuk menangani masalah masalah teknis tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Jabatan	Jumlah Orang	Gaji Perbulan	Jumlah
<i>Senior Aircraft Maintenance</i>	1	Rp10.000.000	Rp10.000.000
<i>Junior Aircraft Maintenance</i>	1	Rp7.000.000	Rp7.000.000
<i>Senior Aircraft Engineer</i>	1	Rp10.000.000	Rp10.000.000
<i>Junior Aircraft Engineer</i>	1	Rp7.000.000	Rp7.000.000
<i>Aircraft Technician</i>	6	Rp5.000.000	Rp30.000.000
Total Biaya Tenaga Kerja			Rp64.000.000

Jadi biaya total yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk upah tenaga kerja adalah sebesar Rp. 400.000 per jam dengan asumsi seluruh tenaga kerja baik technician maupun engineer dapat ditugaskan untuk melakukan kegiatan dan perawatan.

Biaya Akibat Konsekuensi Operasional (C_O) merupakan biaya yang timbul akibat terjadinya downtime (kerusakan), dalam hal ini merugikan maskapai seperti halnya delay karena pesawat tidak dapat beroperasi. Apabila Engine Fuel and Control mengalami kegagalan fungsi tidak dapat mendistribusikan maupun mengatur bahan bakar untuk operasional mesin, maka pesawat dikatakan tidak dapat terbang sementara sebelum dilakukan perbaikan. Dari pihak perusahaan dalam hal ini adalah pihak maskapai, diketahui bahwa setiap kegiatan perbaikan dan perawatan dapat menyebabkan konsekuensi operasional. Konsekuensi tersebut meliputi kerugian maskapai akibat pesawat tidak dapat mengangkut penumpang maupun administrasi di bandar udara, yang mengakibatkan konsekuensi operasional yang harus ditanggung maskapai hingga mencapai Rp. 84.825.000 per jam.

Biaya Perbaikan (C_R) ini timbul yang diakibatkan dengan adanya kerusakan dari peralatan sistem Engine Fuel and Control, yang membutuhkan biaya penggantian komponen. Perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil biaya perbaikan (C_R). Berikut ini

adalah contoh perhitungan biaya untuk komponen fuel pump yang menghendaki dilakukannya maintenance untuk kerusakan akibat tidak dapat mendistribusikan bahan bakar.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Biaya Perbaikan

Diketahui:		
Cc	Rp822.150.000	
Cw	Rp400.000	Per Jam
Co	Rp84.825.000	Per Jam
MTTR	12	Jam
CR	Rp1.844.850.000	

Pada Tabel 4.17 berikut ini merupakan rekap hasil perhitungan lengkap pada semua komponen yang dievaluasi.

Tabel 4.10 Biaya Untuk Perbaikan Komponen

Komponen	Cc (Rp.)	Cw (Rp.)	Co (Rp.)	MTTR	CR (Rp.)
Fuel Pump	Rp822.150.000	Rp40.000	Rp84.825.000	12,0	Rp1.840.530.000
IDG Oil Cooler	Rp204.088.950	Rp40.000	Rp84.825.000	5,0	Rp628.413.950
Servo Fuel Heater	Rp328.442.400	Rp40.000	Rp84.825.000	5,3	Rp773.983.650
EEC	Rp4.110.750.000	Rp40.000	Rp84.825.000	6,2	Rp4.634.367.050
HMU	Rp528.955.650	Rp40.000	Rp84.825.000	6,3	Rp1.066.151.100
Fuel Flow Transmitter	Rp160.841.250	Rp40.000	Rp84.825.000	5,5	Rp627.598.750
FFDPS	Rp131.165.550	Rp40.000	Rp84.825.000	3,6	Rp436.679.550

Penentuan Biaya Preventive Maintenance (C_{PM}) Sebelumnya telah dilakukan analisis perhitungan kehandalan masing-masing komponen pada Engine Fuel and Control. Pada perhitungan dilakukan sampai rentang waktu 35000 jam. Rentang waktu tersebut di ambil nilai keandalan pada saat mencapai 70%, 60 % dan 50% untuk tiap komponen. Pada tiap nilai kehandalan tersebut dianalisis untuk menghitung biaya pada saat dilakukan preventive maintenance.

Table 4.11 Hasil Perhitungan Biaya Preventive Maintenance pada Fuel Pump ketika nilai kehandalan 70%

Diketahui:

CM	Rp1.750.000	
Rt	0,711153	
CR	Rp1.843.650.000	
tp	3500	jam
tf	6620	jam
CPM	Rp121.279,9	per jam

Pembiayaan pada fuel pump ketika nilai kehandalan $\approx 70\%$ adalah Rp. 121.279,9 x 12 jam = Rp. 1.455.358,8. Pada preventive maintenance dengan kehandalan 70% diperoleh sebanyak 8 kali selama 30.000 jam operasi, sehingga total biaya diperoleh sebesar Rp. 11.642.867

Pada Tabel 4.19 berikut ini merupakan rekap hasil perhitungan lengkap pada semua komponen yang dievaluasi.

Table 4.12 Rekap Biaya Preventive Maintenance

Komponen	CPM pada R(t)		
	70%	60%	50%
	Rupiah (Rp)	Rupiah (Rp)	Rupiah (Rp)
Fuel Pump	Rp11.642.868	Rp10.749.527	Rp9.909.391
IDG Oil Cooler	Rp1.067.580	Rp951.949	Rp815.455
Servo Fuel Heater	Rp1.057.352	Rp1.041.884	Rp963.035
EEC	Rp16.287.251	Rp12.796.609	Rp11.167.190
HMU	Rp4.109.764	Rp3.495.759	Rp2.700.898
Fuel Flow Transmitter	Rp701.148	Rp584.608	Rp465.125
FFDPS	Rp5.002.049	Rp4.405.278	Rp3.701.778

Hasil perhitungan biaya yang telah dilakukan menunjukkan bahwa biaya preventive maintenance pada tiap-tiap komponen ternyata berbeda-beda. Jika preventive maintenance diterapkan pada nilai kehandalan yang lebih besar, maka biaya yang dibutuhkan juga akan semakin besar. Dalam hal meningkatkan kualitas ini pihak perusahaan harus memastikan nilai kehandalan pada tiap-tiap komponen berada di atas standar yang berlaku.

Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Berdasarkan dari 7 komponen yang ada dalam penelitian, berikut adalah penjadwalan perawatan yang paling tepat:
 - a. Fuel Pump harus dilakukan scheduled restoration task setiap 3500 jam operasi.
 - b. IDG Oil Cooler harus dilakukan scheduled restoration task setiap 5500 jam

- operasi.
- c. Servo Fuel Heater harus dilakukan scheduled restoration task setiap 6000 jam operasi.
 - d. Electronic Engine Control harus dilakukan scheduled oncondition task setiap 3500 jam operasi.
 - e. Hydro-mechanical Unit harus dilakukan scheduled restoration task setiap 3000 jam operas
 - f. Fuel Flow Transmitter harus dilakukan scheduled oncondition task setiap 6500 jam operasi.
 - g. Fuel Flow Differential Pressure Switch harus dilakukan scheduled on-condition task setiap 1000 jam operasi.
2. Pada analisis pembiayaan preventive maintenance yang dilakukan pada saat nilai kehandalan mencapai 70%, 60% dan 50% berturut-turut diperoleh pada masing-masing komponen. Pada Fuel Pump diperoleh Rp 11.642.868 ; Rp 10.749.527 dan Rp 9.909.391. Pada IDG Oil Cooler diperoleh Rp 1.067.580 ; Rp 951.949 dan Rp 815.455. Pada Servo Fuel Heater diperoleh Rp 1.057.352 ; Rp 1.041.884 dan Rp 963.035. Pada Electronic Engine Control diperoleh Rp 16.287.251 ; Rp 12.796.609 dan Rp 11.167.190. Pada Hydro-mechanical Unit diperoleh Rp 4.109.764 ; Rp 3.495.759 dan Rp 2.700.898. Pada Fuel Flow Transmitter diperoleh Rp 701.148 ; Rp 584.608 dan Rp 465.125. Pada Fuel Flow Differential Pressure Switch diperoleh Rp 5.002.049 ; Rp 4.405.278 dan Rp 3.701.778.

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Notasi

CR = biaya perbaikan	λ = failure rate dari waktu antar kegagalan
CC = biaya komponen	μ = 1/MTTR
CW = biaya tenaga kerja	γ = parameter lokasi (location parameter)
CO = biaya konsekuensi operasional (loss product)	t = waktu (variabel)
CM = biaya maintenance	μ = rata-rata
F (t) = Cumulative Distribution Function (CDF)	σ = simpangan baku
R (t) = adalah Reliability Function	β = bentuk parameter (shape parameter)
f (t) = adalah Probability Density Function (PDF)	η = parameter skala (scale parameter)

Daftar Pustaka

Boeing 737-400 NG Aircraft Maintenance Manual

Ebeling, Charles E. (1997). An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Singapore: The Mc.Graw-Hill Companies.

David A. Senzig and Gregg G. Fleming, (1990), Modeling of Terminal-Area Airplane Fuel Consumption.

P. Jannus, dkk. Rancang Bangun Fuel System Simulator Pesawat Terbang Boeing 737-800. Jakarta : Politeknik Negeri Jakarta, 2019.

Nur feriyanto et al (2016), The Route Analysis Based On Flight Plan.

Nurdiansyah. Perbaikan Rancang Bangun Panel Simulasi Dinding Sistem Bahan Bakar Pesawat Udara. Bandung : Politeknik Negeri Bandung, 2020.