

**PERANCANGAN DURASI WARRANTY DAN PERHITUNGAN ESTIMASI BIAYA
WARRANTY BERDASARKAN ANALISIS KETAHANAN HIDUP
PESAWAT CN-235-220 MPA MILITARY TRANSPORT
DI PT DIRGANTARA INDONESIA**

**WARRANTY LENGTH DESIGN AND CALCULATION OF WARRANTY COST ESTIMATION
BASED ON SURVIVAL ANALYSIS OF CN-235-220 MPA MILITARY TRANSPORT
AT PT DIRGANTARA INDONESIA**

Dian Rahmania¹, Judi Alhilman², Aji Pamoso³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

Email: dianrhmn@gmail.com¹, alhilman@telkomuniversity.ac.id², aji_p9juli@yahoo.com³

Abstrak

PT Dirgantara Indonesia adalah perusahaan yang bergerak dibidang kedirgantaraan dengan kompetensi inti dalam desain dan pengembangan pesawat, pembuatan struktur pesawat, produksi pesawat, serta layanan pesawat untuk sipil dan militer. Untuk memberikan jaminan bahwa produk berjalan dengan baik, PTDI memberikan kebijakan *warranty* untuk pesawat yang dijual. Selama periode 2017 hingga 2018 perusahaan mendapatkan 34 klaim kerusakan dari pesawat CN-235-220 MPA sehingga perlu mengeluarkan biaya *warranty* sebesar Rp 18,963,780,000. Biaya yang dikeluarkan tersebut cukup besar dan melebihi target perusahaan yang menargetkan biaya *warranty* sebesar 2% dari harga jual produk. Analisis ketahanan hidup sangat diperlukan untuk mengetahui seberapa lama pesawat tersebut dapat bertahan hingga mengalami kerusakan, dan estimasi biaya *warranty* dilakukan menggunakan kebijakan *Free Replacement Warranty* (FRW), sehingga didapatkan durasi *warranty* dan estimasi biaya *warranty* dari pesawat CN-235-220 MPA. Dari analisis perhitungan, didapatkan bahwa durasi *warranty* berdasarkan data MTTF adalah selama 0.5 tahun (6 bulan), dimana dengan waktu selama 6 bulan perusahaan hanya perlu mengeluarkan biaya *warranty* sebesar Rp 6,582,333,741.22. Biaya *warranty* yang dikeluarkan perusahaan pun dapat mendekati target yaitu 2% dari harga jual produk.

Kata kunci: *Warranty*, *Free Replacement Warranty* (FRW), MTTF, Durasi *Warranty*, Biaya *Warranty*

Abstract

PT Dirgantara Indonesia is a company engaged in aerospace with core competencies in aircraft design and development, aircraft structure construction, aircraft production, and aircraft services for civilian and military. To guarantee that the product runs well, PTDI provides warranty policies for aircraft sold. During the period of 2017 to 2018 the company received 34 damage claims from the CN-235-220 MPA aircraft so it was necessary to issue a warranty fee of Rp. 18,963,780,000. The costs incurred are quite large and exceed the target of the company which targets warranty costs of 2% of the product selling price. The survival analysis is needed to determine how long the aircraft can survive until it is damaged, and the estimated warranty costs are carried out using the Free Replacement Warranty (FRW) policy, so the warranty duration and the estimated warranty cost of the CN-235-220 MPA aircraft is obtained. From the calculation of MTTF value, it was found that the duration of warranty is 0.5 years (6 months), which with a warranty period of 6 months the company only need to pay a warranty fee as much as IDR 6,582,333,741.22. Warranty costs spent by the company can approach the target, which is 2% of the selling price of the product.

Keywords: *Warranty*, *Free Replacement Warranty* (FRW), MTTF, *Warranty Costs*

1. Pendahuluan

Warranty adalah sebuah kontrak yang disepakati antara produsen dan pembeli mengenai penjualan suatu produk dengan tujuan untuk memberikan pertanggungjawaban produsen dalam mengatasi kegagalan dari produk yang dijual (D.N.Prabhakar Murthy & Blichke, 2006a). Manajemen yang baik terhadap *warranty*, serta kemudahan dalam mengakses layanan perbaikan, terbukti menjadi hal yang sangat menarik untuk konsumen dan dapat

dijadikan alat untuk meningkatkan jumlah penjualan. Selain itu, ketika sebuah perusahaan memberikan kebijakan warranty yang baik maka dapat dikatakan produk yang dijual memberikan keandalan yang baik. Namun menurut (Xie & Ye, 2016), produsen perlu mengeluarkan biaya yang lebih besar untuk menanggung biaya warranty, dimana pada umumnya biaya warranty yang dikeluarkan berkisar antara 2% hingga 15% dari harga jual produk.

PT Dirgantara Indonesia (PTDI) adalah salah satu perusahaan kedirgantaraan yang berada di Asia khususnya di Indonesia dengan kompetensi inti dalam desain dan pengembangan pesawat, pembuatan struktur pesawat, produksi pesawat, serta layanan pesawat untuk sipil dan militer dari pesawat ringan hingga menengah. Salah satu produk unggulan dari PTDI adalah pesawat CN-235-220 MPA. CN-235-220 MPA adalah pesawat angkut bermesin ganda jarak menengah yang dikembangkan berdasarkan kerjasama antara CASA dari Spanyol dan pabrikan Indonesia PTDI, yang sekarang berada di bawah kendali *Airbus Group*.

Dalam memberikan jaminan terhadap kualitas pesawat CN-235-220 MPA, PTDI memberikan *warranty* selama dua tahun atau 600 *flight hour*. Selama durasi tersebut, konsumen tidak perlu mengeluarkan biaya apabila terjadi kerusakan, tetapi tidak semua komponen rusak dapat diberikan *warranty* melainkan hanya komponen yang memiliki *serial number* dan akibat kerusakan komponen adalah kerusakan operasional. Semua hal tersebut sudah tertera dalam *warranty core* perusahaan, dimana *warranty core* merupakan klausul atau kontrak yang disetujui oleh penjual dan pembeli. Namun, untuk menetapkan durasi *warranty* tersebut, perusahaan hanya berdasarkan pada kontrak dan negosiasi dengan konsumen bukan berdasarkan data historis kerusakan produk. Berdasarkan data klaim *warranty* dari produk CN-235-220 MPA milik salah satu konsumen pada periode 2017 hingga 2018, terdapat 34 klaim kerusakan komponen yang menyebabkan perusahaan perlu memperbaiki komponen tersebut berdasarkan klaim yang diajukan. Pola kerusakan dari data klaim kerusakan produk akan memengaruhi biaya *warranty*. Apabila produk yang ditawarkan mengalami banyak kerusakan atau terdapat banyak klaim maka biaya untuk memenuhi klaim tersebut semakin besar, dan perusahaan mengeluarkan biaya yang cukup besar yaitu Rp 18,963,780,000. Biaya yang dikeluarkan perusahaan tersebut tidak memenuhi target perusahaan yang menargetkan biaya *warranty* sebesar 2% dari harga jual produk atau sebesar Rp 6,321,260,000.

2. Dasar Teori

2.1 Manajemen Perawatan

Perawatan (*maintenance*) didefinisikan sebagai kegiatan yang terdiri dari berbagai fungsi yang diperlukan untuk menjaga sistem ataupun mengembalikan sistem ke keadaan awal atau kondisi operasi yang dapat diterima [3]. *Maintenance* dilakukan agar menjaga produktivitas mesin yang dimiliki perusahaan, dengan kata lain perusahaan perlu menjaga mesin tersebut tetap dalam keadaan prima. Selain itu, menurut [4], tujuan utama dari perawatan adalah untuk memperpanjang umur hidup aset, memastikan kesiapan operasional semua peralatan yang diperlukan dalam kegiatan darurat, dan memastikan keamanan setiap orang yang menggunakan fasilitas tersebut.

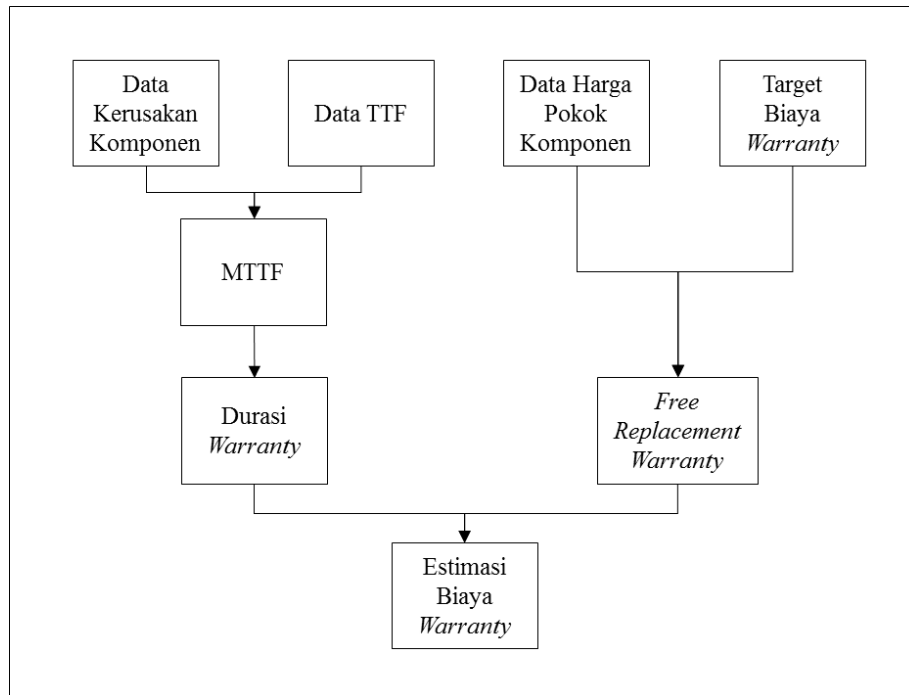
2.2 Warranty

Warranty adalah sebuah kontrak yang disepakati antara produsen dan pembeli mengenai penjualan suatu produk dengan tujuan untuk memberikan pertanggungjawaban produsen dalam mengatasi kegagalan dari produk yang dijual, selain itu kontrak juga berkaitan dengan tanggungjawab pembeli untuk mengoperasikan dan melakukan perawatan terhadap barang tersebut [1]. Menurut [5], *warranty* adalah perjanjian berupa kontrak antara penjual dan pembeli, dimana pihak penjual memberikan layanan purna jual yaitu berkaitan dengan kualitas produk dengan memberikan perbaikan tanpa membebankan biaya perbaikan kepada pembeli. Kerusakan yang terjadi adalah suatu bentuk ketidakmampuan produk untuk menjalankan fungsi yang telah ditetapkan. Jika produk tersebut gagal menjalankan fungsi seperti yang dijanjikan produsen, maka konsumen berhak mendapatkan kompensasi berupa ganti rugi atas kerusakan yang terjadi.

Warranty sebagai kunci untuk meningkatkan penjualan dan keuntungan produsen telah banyak diteliti dari tahun ke tahun. Penelitian yang dilakukan mencakup berbagai permasalahan. Untuk merancang kebijakan *warranty*, [6] melakukan penelitian yang berfokus pada waktu kegagalan dan waktu perbaikan *warranty* dengan menggunakan data lapangan sebagai dua faktor yang memengaruhi kebijakan *warranty*, dimana waktu kegagalan dan waktu perbaikan *warranty* digunakan secara bersamaan untuk menganalisis biaya *warranty* sehingga klaim *warranty* dikatakan layak. Data waktu kegagalan juga digunakan oleh [7] untuk menentukan periode *warranty* dan harga produk, dimana data waktu kegagalan menjadi parameter ketahanan hidup sehingga dapat merancang periode *warranty* dan mengestimasi biaya *warranty* yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan. Penelitian yang dilakukan oleh [8] adalah memberikan kebijakan *warranty* baru untuk produk alat berat dimana pembeli melakukan investasi pada biaya *preventive maintenance* selama siklus hidup produk untuk mengurangi kerugian akibat *downtime* produksi. Penelitian tersebut dilakukan untuk menganalisis sudut pandang pembeli terhadap *warranty* sehingga memberikan *win win solution* untuk produsen dan pembeli. Peneliti sebelumnya yang melakukan penelitian terhadap produsen produk mesin cuci menghasilkan kebijakan *warranty* optimal pada mesin cuci berdasarkan durasi *warranty* dan biaya *warranty* dengan mempertimbangkan fase *burn-in* [9]. Penelitian mengenai *warranty*

pun dilakukan oleh [10] yang memberikan kebijakan *warranty* dengan mempertimbangkan pemeliharaan preventif non-periodik untuk menentukan durasi *warranty* optimal dengan terbatas pada keandalan produk yang harus berada di atas batas tertentu. Pada beberapa penelitian, ditemukan bahwa analisis keandalan atau ketahanan hidup produk membuat penentuan durasi *warranty* lebih akurat. Oleh karena itu, dilakukan perancangan durasi *warranty* berdasarkan ketahanan hidup produk untuk mengestimasi biaya *warranty* dari pesawat CN-235-220 MPA.

2.3 Model Konseptual



Gambar 1 Model Konseptual

Berdasarkan gambar di atas, tujuan dari penelitian ini adalah perancangan durasi dan estimasi biaya *warranty* optimal untuk pesawat CN-235-220 MPA. Untuk menentukan durasi dan biaya *warranty* optimal, hal pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan objek yang diteliti. Selanjutnya adalah menganalisis data klaim *warranty* untuk melihat kerusakan produk, yang terdapat data *time to failure* (TTF). Dari data *time to failure*, selanjutnya dilakukan perhitungan *mean time to failure* (MTTF) dari pesawat CN-235-220 MPA sehingga memberikan gambaran untuk merancang periode dari kebijakan *warranty* atau durasi *warranty*.

Setelah didapatkan durasi *warranty* dari pengolahan data klaim kerusakan pesawat CN-235-220 MPA, selanjutnya penulis mendefinisikan parameter yang digunakan untuk perhitungan estimasi biaya *warranty*. Parameter yang dibutuhkan adalah harga pokok komponen atau biaya produksi komponen. Setelah parameter yang dibutuhkan terdefinisi, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan estimasi biaya *warranty*. Input untuk perhitungan estimasi biaya *warranty* adalah durasi *warranty* yang telah dihitung dan harga pokok komponen. Setelah dilakukan perhitungan estimasi biaya *warranty*, maka dilakukan analisis terhadap biaya *warranty* pada kebijakan tersebut. Sehingga didapatkanlah durasi *warranty* optimal dan estimasi biaya *warranty* dari pesawat CN-235-220 MPA.

3. Pembahasan

Pengumpulan data yang berkaitan dengan perhitungan maupun untuk informasi didapatkan dari divisi *customer support* yang menangani *warranty* di PT Dirgantara Indonesia Bandung. Objek yang diteliti adalah pesawat CN-235-220 MPA. Pemilihan objek penelitian didasarkan pada data klaim *warranty* terbanyak dan CN-235-220 MPA merupakan produk unggulan dari PTDI. Adapun data yang dikumpulkan adalah data komponen pesawat CN-235-220 MPA, data klaim *warranty*, data *time to failure* (TTF), dan data biaya produksi komponen. Dari data TTF masing-masing komponen, selanjutnya dilakukan penentuan distribusi yang mewakili. Distribusi yang digunakan terbatas untuk distribusi Weibull, distribusi eksponensial, dan distribusi normal dengan menggunakan uji Anderson Darling (AD). Uji AD dibantu dengan *software* Minitab 17. Setelah didapatkan distribusi yang mewakili, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *mean time to failure* (MTTF). Berikut adalah hasil perhitungan MTTF masing-masing komponen pesawat CN-235-220 MPA.

Tabel 1 Nilai MTTF Komponen Pesawat CN-235-220 MPA

Komponen	Distribusi Terpilih	Parameter		MTTF
		η	β	
Rudder	Weibul	η	0.303977	0.27458
		β	1.49095	
Drain Tank	Weibul	η	0.453729	0.42647
		β	7.89408	
Airstair Assy Paratroop	Weibul	η	0.480125	0.43626
		β	1.4294	
Pipa Duct	Weibul	η	0.441251	0.39718
		β	1.53132	
CTHS	Weibul	η	0.459812	0.43767
		β	1.14555	
Emergency Trim Elev. Switch	Weibul	η	0.431708	0.40956
		β	1.162	
Panel Light on Fuel Control	Weibul	η	0.496465	0.4758
		β	1.12463	

3.1 Penentuan Durasi Warranty

Karena nilai MTTF terkecil adalah 0.274 tahun untuk komponen *Rudder* dan MTTF terbesar adalah 0.4758 tahun untuk komponen *Panel Light*, maka perusahaan perlu memberikan durasi *warranty* yang mampu menutupi dan mengatasi kemungkinan gagalnya komponen berdasarkan waktu rata-rata terbesar komponen akan rusak. Berdasarkan paparan tersebut, durasi *warranty* berdasarkan data MTTF adalah selama 0.4758 tahun atau dibulatkan menjadi 0.5 tahun (6 bulan). Selain harus menentukan durasi berdasarkan waktu, durasi *warranty* perlu dipertimbangkan berdasarkan pemakaian. Parameter pemakaian yang digunakan adalah *flight hour*. Dalam hal ini, durasi dengan skala waktu satu bulan disetarakan dengan pemakaian lima puluh *flight hour* (50 jam terbang). Maka, durasi yang diberikan perusahaan terhadap klaim *warranty* pesawat CN-235-220 MPA adalah selama 0.5 tahun (6 bulan) atau setara dengan 300 *flight hour*, mana yang terlewati lebih dahulu maka batas waktu itu yang digunakan untuk melakukan klaim *warranty* sejak awal pembelian pesawat.

3.2 Perhitungan Estimasi Biaya Warranty dengan Masa Warranty 6 Bulan

Estimasi biaya *warranty* masing-masing komponen dihitung berdasarkan distribusi terpilih yaitu Weibull serta dengan kebijakan *free replacement warranty*, sehingga digunakan persamaan II.16 dengan masa *warranty* selama 0.5 tahun yaitu:

$$E[C_s(t)] = C_s [1 + F(t)]$$

dimana:

- $E[C_s(t)]$ = estimasi biaya *warranty* yang dikeluarkan perusahaan selama durasi w
- t = durasi *warranty* = 0.5 tahun
- C_s = harga pokok masing-masing komponen
- $F(t)$ = probabilitas jumlah kerusakan dalam interval 0 sampai t
- Γ = koefisien gamma

dengan:

$$F(t; \lambda; \beta) = 1 - e^{-(\lambda t)^\beta}$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF}$$

Maka

$$E[Cs(t)] = Cs [2 - e^{-(\lambda t)^\beta}]$$

Sehingga perhitungan estimasi biaya *warranty* untuk masing-masing komponen adalah:

a. *Rudder*

$$Cs = \text{Rp } 361,993,418.83$$

$$MTTF = 0.27458$$

$$\beta = 1.49095$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/1.49095)}{0.27458} = 3.289722578$$

$$E[Cs(0.5)] = \text{Rp } 361,993,418.83 [2 - e^{-(3.289722578(0.5))^{1.49095}}]$$

$$= \text{Rp } 361,993,418.83 [2 - 0.122445382]$$

$$= \text{Rp } 361,993,418.83 [1.877554618]$$

$$= \text{Rp } 679,662,415.07$$

b. *Drain Tank*

$$Cs = \text{Rp } 536,493,668.77$$

$$MTTF = 0.42647$$

$$\beta = 7.89$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/7.89)}{0.42647} = 2.203958751$$

$$E[Cs(0.5)] = \text{Rp } 536,493,668.77 [2 - e^{-(2.203958751(0.5))^{7.89}}]$$

$$= \text{Rp } 536,493,668.77 [2 - 0.116206236]$$

$$= \text{Rp } 536,493,668.77 [1.883793764]$$

$$= \text{Rp } 1,010,643,427.56$$

c. *Airstair Assy Paratroop Door*

$$Cs = \text{Rp } 1,350,152,895.13$$

$$MTTF = 0.43626$$

$$\beta = 1.43$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/1.43)}{0.43626} = 2.203958751$$

$$E[Cs(0.5)] = \text{Rp } 1,350,152,895.13 [2 - e^{-(2.203958751(0.5))^{1.43}}]$$

$$= \text{Rp } 1,350,152,895.13 [2 - 0.346562363]$$

$$= \text{Rp } 1,350,152,895.13 [1.653437637]$$

$$= \text{Rp } 2,232,393,612.11$$

d. *Pipa Duct*

$$Cs = \text{Rp } 19,567,747.66$$

$$MTTF = 0.39718$$

$$\beta = 1.53$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/1.53)}{0.39718} = 2.266283816$$

$$\begin{aligned} E[Cs(0.5)] &= \text{Rp } 19,567,747.66 [2 - e^{-(2.266283816(0.5))^{1.53}}] \\ &= \text{Rp } 19,567,747.66 [2 - 0.297913773] \\ &= \text{Rp } 19,567,747.66 [1.702086227] \\ &= \text{Rp } 33,305,993.78 \end{aligned}$$

e. *CTHS*

$$Cs = \text{Rp } 588,035,355.17$$

$$MTTF = 0.43767$$

$$\beta = 1.14555$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/1.14555)}{0.43767} = 2.174801876$$

$$\begin{aligned} E[Cs(0.5)] &= \text{Rp } 588,035,355.17 [2 - e^{-(2.174801876(0.5))^{1.14555}}] \\ &= \text{Rp } 588,035,355.17 [2 - 0.122445382] \\ &= \text{Rp } 588,035,355.17 [1.877554618] \\ &= \text{Rp } 1,104,068,496.42 \end{aligned}$$

f. *Emergency Trim Elev. Switch*

$$Cs = \text{Rp } 537,259,546.89$$

$$MTTF = 0.40956$$

$$\beta = 1.162$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/1.162)}{0.40956} = 2.316380516$$

$$\begin{aligned} E[Cs(0.5)] &= \text{Rp } 537,259,546.89 [2 - e^{-(2.316380516(0.5))^{1.162}}] \\ &= \text{Rp } 537,259,546.89 [2 - 0.122445382] \\ &= \text{Rp } 537,259,546.89 [1.877554618] \\ &= \text{Rp } 1,008,734,143.12 \end{aligned}$$

g. *Panel Light on Fuel Control Unit*

$$Cs = \text{Rp } 310,580,599.94$$

$$MTTF = 0.4758$$

$$\beta = 1.12$$

$$\lambda = \frac{\Gamma(1+1/\beta)}{MTTF} = \frac{\Gamma(1+1/1.12)}{0.4758} = 2.014240682$$

$$\begin{aligned}
 E[C_s(0.5)] &= \text{Rp } 310,580,599.94 [2 - e^{-(2.014240682(0.5))^{1.12}}] \\
 &= \text{Rp } 310,580,599.94 [2 - 0.346562363] \\
 &= \text{Rp } 310,580,599.94 [1.653437637] \\
 &= \text{Rp } 513,525,653.16
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Biaya} &= \text{Rp } 679,662,415.07 + \text{Rp } 1,010,643,427.56 + \text{Rp } \\
 &2,232,393,612.11 + \text{Rp } 33,305,993.78 + \text{Rp } 1,104,068,496.42 + \\
 &\text{Rp } 1,008,734,143.12 + \text{Rp } 513,525,653.16 \\
 &= \text{Rp } 6,582,333,741.22
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, estimasi biaya *warranty* untuk keseluruhan komponen dengan durasi 0.5 tahun adalah sebesar Rp 6,582,333,741.22.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap perancangan durasi *warranty* dan perhitungan estimasi biaya *warranty* berdasarkan analisis ketahanan hidup pesawat CN-235-220 MPA *military transport*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan nilai MTTF atau rata-rata waktu komponen mengalami kegagalan, durasi *warranty* pesawat CN-235-220 MPA adalah 0.5 tahun (6 bulan).
2. Berdasarkan perhitungan menggunakan kebijakan FRW dan durasi *warranty* selama 6 bulan, perusahaan mengeluarkan biaya *warranty* sebesar Rp 6,582,333,741.

Daftar Pustaka

- [1] D. N. P. Murthy and W. R. Blischke, *Springer Series in Reliability Engineering: Warranty Management and Product Manufacture*. USA: Springer-Verlag London Limited, 2006.
- [2] W. Xie and Z. S. Ye, "Aggregate Discounted Warranty Cost Forecast for a New Product Considering Stochastic Sales," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 65, no. 1, pp. 486–497, 2016.
- [3] D. N. P. Murthy and N. Jack, *Extended Warranties, Maintenance Service and Lease Contracts*. London: Springer London, 2014.
- [4] J. Alhilman, R. R. Saedudin, F. T. D. Atmaji, and A. G. Suryabrata, "LCC application for estimating total maintenance crew and optimal age of BTS component," *2015 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2015*, pp. 543–547, 2015.
- [5] X. Zhao, S. He, and M. Xie, "Utilizing experimental degradation data for warranty cost optimization under imperfect repair," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 177, pp. 108–119, 2018.
- [6] M. Park and H. Pham, "Warranty Servicing Times," vol. 61, no. 3, pp. 822–831, 2012.
- [7] D. I. Pratiwi and T. Wuryandari, "Penggunaan analisis ketahanan hidup untuk penentuan periode garansi dan harga produk pada data waktu hidup lampu neon," *J. Gaussian*, vol. 4, no. 1992, pp. 463–476, 2015.
- [8] S. Mo, J. Zeng, and W. Xu, "A new warranty policy based on a buyer's preventive maintenance investment," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 111, no. July, pp. 433–444, 2017.
- [9] Z. Chen, T. Zhao, S. Luo, and Y. Sun, "Warranty Cost Modeling and Warranty Length Optimization under Two Types of Failure and Combination Free Replacement and Pro-Rata Warranty," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 11528–11539, 2017.
- [10] Y. S. Huang, E. Chen, and J. W. Ho, "Two-dimensional warranty with reliability-based preventive maintenance," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 62, no. 4, pp. 898–907, 2013.