

# RELIABILITY ANALYSIS OF MAIN ROTOR EC 155B1 ON PIN BLADE AND ATTACH BEAMS COMPONENTS USING MARKOV ANALYSIS

Irvan Aditiya<sup>1</sup>, Lazuardy Rahendra P<sup>2</sup>, Bangga Dirgantara A<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta  
aditiyairvan243@gmail.com<sup>1</sup>, lazuardyryp@itda.ac.id<sup>2</sup>, banggadirgantara@itda.ac.id<sup>3</sup>,

## Abstract

*Reliability is used to estimate the conditions of systems or components in the future based on previous conditions. The objects of this research are EC 155B1 aircrafts owned by Indonesia Air Transport & Infrastructure (IAT), and the method used for analysis is markov analysis. Markov analysis is widely used as an analyzing technique the states of the system that has limited information (memoryless). From this research, ATA chapter 62 Main Rotor that meets the requirements of reliability analysis. The constituent components of main rotor states are Pin Blade, Lower Attach Beam, and Upper Attach Beam. The results of the markov analysis of main rotor system, the states that worked properly are state 1, state 3, and state 4. The probability of the state 1 showed that state has decreased from initial condition, while the state 3 and state 4 have increased from initial condition and subsequently have decreased. The reliability of main rotor system has decreased along with increasing of flight hours with the Mean Time To Failure (MTTF) is 2340.22 flight hours.*

**Keywords:** EC 155B1, Markov Analysis, Probability, Reliability

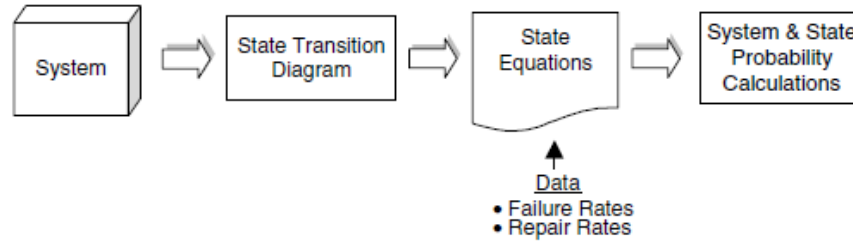
## 1. Pendahuluan

EC 155B1 merupakan pesawat terbang berjenis *rotary wing* yang dapat digunakan di berbagai medan. Keuntungan dari *rotary wing* dibanding *fix wing* yaitu pada fleksibilitas penggunaannya yang tidak memerlukan *runway* dan hanya membutuhkan *helipad*/tanah yang lapang. Sehingga banyak digunakan untuk keperluan lepas pantai (*offshore*), keperluan medis, dan dapat mendukung kegiatan SAR (*Search And Rescue*). Helikopter juga digunakan untuk keperluan transportasi *charter* yang ditujukan bagi kalangan yang membutuhkan fleksibilitas waktu. Sehingga diperlukan analisa keandalan untuk mengetahui tingkat keandalan dari komponen pesawat agar laik dan siap digunakan kapan pun ketika diperlukan.

Keandalan (*Reliability*) merupakan peluang suatu unit atau sistem berfungsi normal jika digunakan menurut kondisi operasi tertentu dan periode waktu tertentu [1]. Pada model keandalan, keadaan suatu sistem ditunjukkan oleh berbagai kondisi ketika sistem bekerja maupun mengalami kegagalan. Dalam penerapannya, teori keandalan digunakan untuk memperkirakan kondisi sistem atau komponen kedepan berdasarkan kondisi sebelumnya. Dimana kondisi sebelumnya yang dimaksud dapat berupa umur penggunaan komponen maupun kegagalan komponen dengan berbagai keadaan.

*Markov analysis* secara luas digunakan sebagai teknik untuk menganalisa keandalan suatu sistem yang memiliki keterbatasan informasi di masa lalu (*memoryless*). Metode ini dikembangkan oleh Andrei A Markov pada tahun 1906. Dalam penggunaannya metode ini digunakan berdasarkan waktu dan fenomena secara acak (*random*), serta memperkirakan kejadian-kejadian di waktu mendatang secara sistematis dan dalam variabel-variabel yang dinamis. Dalam *markov analysis* jika keadaan sekarang diberikan selama proses, maka keadaan di masa yang akan datang terpisah dari keadaan di masa lalu [2]. Sehingga metode ini sangat membantu untuk merencanakan program perawatan dimasa yang akan datang terutama pada komponen/sistem yang masih tergolong baru.

Dalam perhitungan *markov analysis* digunakan *State Transition Diagram* (STD) untuk menggambarkan seluruh keadaan sistem baik dalam keadaan beroperasi (*operational*) maupun mengalami kegagalan (*failure*). Penggunaan *state diagram* bersifat fleksibel dan dapat dipakai untuk analisa sebuah komponen maupun seluruh sistem yang bekerja. Karena diagram tersebut menunjukkan gambaran dari sistem *state*, transisi diantara *state*, serta nilai dari *transition rates* yang bekerja. Sehingga dapat digunakan untuk menghitung probabilitas tiap *state* yang bergantung dari aliran keluar-masuknya masing-masing *state*.



Gambar 1. Proses *Markov Analysis* (Ericson, 2005)

Berdasarkan Gambar 1 pembentukan *state equations* memerlukan data berupa *transition rates*, yaitu *failure rates* dan *repair rates*. Jika sistem hanya memiliki *failure rates* maka sistem dikatakan *non-repairable*, adapun sistem dianggap *repairable* jika sistem tersebut memiliki *failure* dan *repair rates*. *Transition rates* menunjukkan banyaknya kegagalan/perbaikan komponen atau sistem persatuan waktu, sehingga persamaannya adalah:

$$\text{Failure rate } (\lambda) = \frac{\text{jumlah kegagalan komponen}}{\text{waktu (hours)}} \quad (1)$$

$$\text{Repair rate } (\mu) = \frac{\text{jumlah perbaikan komponen}}{\text{waktu (hours)}} \quad (2)$$

*Reliability* merupakan probabilitas bekerjanya alat yang tercukupi pada periode tertentu dari *operating condition* yang diberikan [4]. Probabilitas yang bekerja di dalam sistem memuat fungsi dari *state* pada periode tertentu dan digunakan berdasarkan kondisi tertentu [5]. Persamaan *reliability* didapatkan dengan cara mengintegrasikan persamaan diferensialnya, dengan  $f(x)$  sebagai persamaan diferensial yang dianggap bekerja menjadi:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x)dt \quad (3)$$

Persamaan keandalan dapat ditulis dengan  $\sum P_{success}(t)$  sebagai jumlah seluruh persamaan probabilitas *state* yang masih bekerja menjadi:

$$R(t) = \sum P_{success}(t) \quad (4)$$

*Mean Time To Failure* dideskripsikan sebagai estimasi waktu sebuah sistem menuju kegagalan pada sistem *non-repairable* [6]. Persamaan dari MTTF dapat ditulis sebagai berikut:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (5)$$

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ramadhan (2020), data tersebut merupakan dokumen yang dimiliki PT. Indonesia Air Transport & Infrastructure (IAT) yang terkait dengan kerusakan-kerusakan komponen baik itu *defect monitoring*, *history report*, *Airworthiness Limitation Section* (ALS), dan *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) EC 155B1. Dalam proses penelitian, penulis merinci tahap-tahap pengerjaan skripsi sebagai berikut:

- a. Studi literatur. Tujuan dari studi literatur adalah untuk melengkapi materi yang digunakan dalam perhitungan *markov analysis*, baik dari buku cetak maupun jurnal ilmiah.
- b. Pengumpulan data. Pada tahap ini penulis mengumpulkan data berupa *defect monitoring*, *history report* pergantian komponen pesawat, *Airworthiness Limitation Section* (ALS), dan *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) EC 155B1.
- c. Pemilihan ATA *chapter* menggunakan *defect ranking* untuk menganalisis tingginya tingkat kegagalan dari pesawat EC 155B1 dan dikelompokkan berdasarkan ATA *chapter* tertentu. *Defect ranking* tertinggi digunakan untuk menganalisis tingkat keandalannya dengan mengambil 3 komponen teratas yang paling sering terjadi kerusakan.
- d. Tahap selanjutnya yaitu memeriksa kecukupan data yang di dapat dari hasil *state transition diagram*. Jika data yang di dapat masih kurang, maka dilanjutkan lagi tahap pengumpulan data.
- e. Pembentukan *state transition diagram* dan *state equation*. Pada pembentukan *state transition diagram*, penulis menentukan masing-masing keadaan state dan melambangkannya untuk membentuk suatu diagram. Dari hasil tersebut penulis dapat merancang *state transition diagram* berdasarkan hubungan antar kerusakan sebelum terjadi kegagalan secara menyeluruh.
- f. Proses analisis. Pada proses analisis, penulis hanya menggunakan *state equation* dari sistem yang masih bekerja untuk menentukan probabilitas dan reliability dari sistem tersebut.
- g. Kesimpulan. Setelah didapatkan hasil perhitungan analisis, penulis menjabarkan keandalan (*reliability*) beserta *Mean Time To Failure*.

## 3. Hasil dan Analisis

Dalam penelitian ini, penulis menentukan keandalan pada helikopter EC155B1 milik PT. Indonesia Air Transport & Infrastructure, Tbk (IAT) dengan menggunakan data *defect monitoring* bulan September 2017 s.d. Agustus 2019 (24 bulan). Penulis melakukan *defect ranking* secara kuantitatif untuk menentukan ATA *chapter* yang digunakan untuk analisis keandalan berdasarkan banyaknya *defect* yang terekam dan memiliki *hardtime* yang tercatat pada *Airworthiness Limitation Section* (ALS). Untuk komponen penyusun *state* dari ATA *Chapter* yang terpilih, penulis membatasi 3 komponen yang paling banyak dilakukan pergantian dan memiliki keterkaitan fungsional secara langsung sebagai penyusun *state* untuk *state transition diagram*. Berdasarkan seluruh mekanisme pemilihan ATA *Chapter* dan komponen tersebut, dipilihlah ATA *Chapter* 62 Main Rotor untuk dianalisis tingkat keandalannya dengan komponen penyusun *state*-nya antara lain : *Pin Blade*, *Lower Attach beam*, dan *Upper Attach Beam*.

*Transition rates* merupakan komponen yang membentuk *state transition diagram* pada *markov analysis* yang bertujuan untuk menghubungkan keadaan-keadaan *state* beserta informasi yang terkait dengan keadaan *state* tersebut. Pada *history report* tidak dituliskan *manhours* yang diperlukan untuk pergantian setiap komponen yang terekam, sehingga penulis

hanya menggunakan *failure rate* ( $\lambda$ ) untuk membentuk *state transition diagram*. Berikut adalah transition rates dari masing-masing ketiga komponen antara lain:

- a. *Failure rate Pin Blade* ( $\lambda_1$ )

$$\lambda_1 = \frac{30}{57590} = 5.2092e - 04 = 0.00052092$$

- b. *Failure rate Lower Attach Beam* ( $\lambda_2$ )

$$\lambda_2 = \frac{20}{67277.5} = 2.9728e - 04 = 0.00029728$$

- c. *Failure rate Upper Attach Beam* ( $\lambda_3$ )

$$\lambda_3 = \frac{20}{69674} = 2.8705e - 04 = 0.00028705$$

*State transition diagram* ditentukan berdasarkan keadaan komponen yang diteliti oleh penulis yang menunjukkan seluruh kemungkinan keadaan (*state*) yang dapat terjadi pada sistem. Penentuan keadaan bekerja atau tidaknya dari *state* yang terbentuk pada sistem Main Rotor EC 155B1 ditentukan dengan memeriksa *history records* dan *Aircraft Maintenance Manual* (AMM). Kondisi *state* yang terbentuk ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

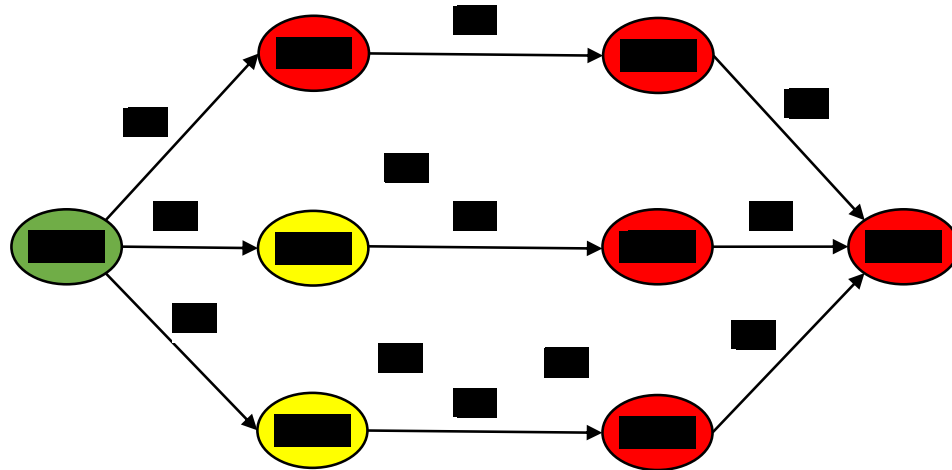
Tabel 1. Kondisi *state* yang terbentuk

<i>State</i>	<i>Components</i>			<i>Condition</i>
	PB	LAB	UAB	
<b>S1</b>	S	S	S	<b>S</b>
<b>S2</b>	F	S	S	<b>F</b>
<b>S3</b>	S	F	S	<b>S</b>
<b>S4</b>	S	S	F	<b>S</b>
<b>S5</b>	F	F	S	<b>F</b>
<b>S6</b>	S	F	F	<b>F</b>
<b>S7</b>	F	S	F	<b>F</b>
<b>S8</b>	F	F	F	<b>F</b>

Keterangan :

- PB = komponen *Pin Blade*
- LAB = komponen *Lower Attach Beam*
- UAB = komponen *Upper Attach Beam*
- S = *success*
- F = *failure*

Dari Tabel 1 dapat dirubah menjadi *state transition diagram* sebagai berikut:



Gambar 2. *State Transition Diagram*

Keterangan :

- $\lambda_1 = \text{failure rate Pin Blade}$   = Berfungsi penuh
- $\lambda_2 = \text{failure rate Lower Attach Beam}$   = Berfungsi terdegradasi
- $\lambda_3 = \text{failure rate Upper Attach Beam}$   = Gagal

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa *state* yang dapat bekerja dan digunakan untuk analisis tingkat keandalannya antara lain: *state* 1, *state* 3, dan *state* 4. Berdasarkan aliran keluar-masuk dari masing-masing *state* yang bekerja didapatkan persamaan diferensialnya:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_1(t)$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_2 P_1(t) - \lambda_3 P_3(t)$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_3 P_1(t) - \lambda_1 P_4(t)$$

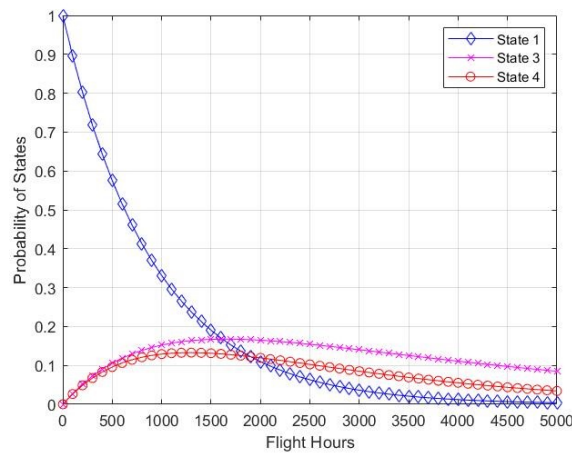
Dari persamaan diferensial tersebut dirubah menjadi persamaan probabilitas dengan memasukan *failure rate* dan *intial condition*  $P_1(0) = [1 \ 0 \ 0]^T$ . Integrasi dari *state equation* dapat diselesaikan dengan menggunakan permodelan *eigenvalue* dan *eigenvector* [8], sehingga persamaan probabilitasnya menjadi:

$$P_1(t) = e^{-0.0011053t}$$

$$P_3(t) = 0.3633e^{-0.00028705t} - 0.3633e^{-0.0011053t}$$

$$P_4(t) = 0.4912e^{-0.00052092t} - 0.4912e^{-0.0011053t}$$

Dengan memasukan *flight hours* dari 0 s.d. 5000 *hours* probabilitas dari masing-masing *state* ditunjukkan pada Gambar 3.

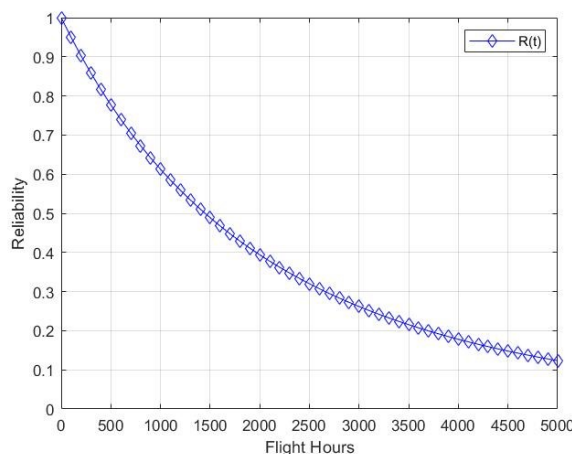


**Gambar 3.** Grafik probabilitas *state* yang bekerja

Persamaan reliability dari markov analysis didapatkan dengan menjumlahkan persamaan probabilitas dari *state* yang bekerja, sehingga persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned}
 R(t) &= P_1(t) + P_3(t) + P_4(t) \\
 R(t) &= e^{-0.0011053t} + 0.3633e^{-0.00028705t} - 0.3633e^{-0.0011053t} + \\
 &\quad 0.4912e^{-0.00052092t} - 0.4912e^{-0.0011053t} \\
 R(t) &= 0.1455e^{-0.0011053t} + 0.3633e^{-0.00028705t} + 0.4912e^{-0.00052092t}
 \end{aligned}$$

Untuk menunjukan tingkat keandalan *Main Rotor* EC 155B1 maka dimasukan *flight hours* pesawat dari 0 s.d. 5000 *hours* dan hasilnya ditampilkan pada grafik berikut:



**Gambar 4.** Grafik keandalan Main Rotor

Adapun nilai MTTF yang menunjukan rata-rata waktu komponen mengalami kerusakan dan digunakan untuk memperkirakan waktu perawatan pada komponen yang dianalisis sehingga operator pesawat udara dapat mempersiapkan keperluan apa saja untuk proses perawatan kedepan. Dengan 3 komponen penyusun dari *state main rotor*, maka nilai MTTF yang ditunjukan hanya berpengaruh pada 3 komponen tersebut. Sehingga nilai MTTF yang dihasilkan dari *Main Rotor* dengan komponen *Pin Blade* dan *Attach Beams* yaitu:

$$\begin{aligned}
MTTF &= \int_0^{\infty} (0.1455e^{-0.0011053t} + 0.3633e^{-0.00028705t} + 0.4912e^{-0.00052092t}) dt \\
MTTF &= \lim_{b \rightarrow \infty} \int_0^b 0.1455e^{-0.0011053t} dt + \lim_{b \rightarrow \infty} \int_0^b 0.3633e^{-0.00028705t} dt + \\
&\quad \lim_{b \rightarrow \infty} \int_0^b 0.4912e^{-0.00052092t} dt \\
MTTF &= \lim_{b \rightarrow \infty} \left. \frac{0.1455}{0.0011053} e^{-0.0011053t} \right|_0^b + \lim_{b \rightarrow \infty} \left. \frac{0.3633}{0.00028705} e^{-0.00028705t} \right|_0^b + \\
&\quad \lim_{b \rightarrow \infty} \left. \frac{0.4912}{0.00052092} e^{-0.00052092t} \right|_0^b \\
MTTF &= \lim_{b \rightarrow \infty} [131.6385e^{-0.0011053 \times b} + 131.6385e^{-0.0011053 \times 0}] + \\
&\quad \lim_{b \rightarrow \infty} [1265.6332e^{-0.00028705 \times b} + 1265.6332e^{-0.00028705 \times 0}] + \\
&\quad \lim_{b \rightarrow \infty} [942.9471e^{-0.00052092 \times b} + 942.9471e^{-0.00052092 \times 0}] \\
MTTF &= 131.6385 + 1265.6332 + 942.9471 \\
MTTF &= 2340.22 \text{ fh}
\end{aligned}$$

#### 4. Kesimpulan

Pemilihan ATA *Chapter* yang digunakan untuk analisis keandalan EC 155B1 yaitu berdasarkan *defect ranking* tertinggi yang memiliki *hardtime* pada dokumen ALS serta terdapat proses perawatan/pergantian komponen. Berdasarkan hasil analisis tersebut dipilihlah ATA *Chapter 62 Main Rotor* untuk dianalisis tingkat keandalannya, dengan komponen penyusun *state*-nya antara lain *Pin Blade*, *Lower Attach Beam*, dan *Upper Attach Beam*. Dari Gambar 3 probabilitas performa *main rotor* dari *state 1* (sistem bekerja optimal) terus mengalami penurunan, sedangkan *state 3* dan *state 4* yang terdapat *defect* pada masing-masing *attach beams* probabilitasnya naik dan selanjutnya mengalami penurunan seiring bertambahnya *flight hours*. Kenaikan probabilitas dari *state* selain yang bekerja secara optimal merupakan hal yang wajar, karena dari *initial condition* seluruh sistem dianggap bekerja optimal ketika dianalisis dan *state* yang memiliki *defect* dianggap belum muncul. Tingkat keandalan (*reliability*) dari *Main Rotor* EC 155B1 menunjukkan bahwa tingkat keandalannya terus mengalami penurunan seiring bertambahnya *flight hours*, dengan *Mean Time To Failure* (MTTF) berada pada 2340.22 *flight hours*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utama, F.Y. 2012. Simulation and Modelling Aircraft Components Reliability of Boeing 737-300/-400 Type. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. Indonesia.
- [2] Balagurusamy, E. 1984. Reliability Engineering. Tata Macgraw Hill. New Delhi. India
- [3] Ericson, C.A. 2005. Hazard Analysis Technique for System Safety. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. USA.
- [4] Srinath, L.S. 2013. Reliability Engineering. East West Press. New Delhi. India.
- [5] Kalaierasi, S. Anita, A.M. Geethanjali, R. 2017. Analysis of System Using Markov Technique. Global Journal of Pure and Applied Mathematics. India.
- [6] Saritha, G. Devi, M Tirumala. Maheswari, T S U. 2020. Reliability and Availability for Non-Repairable & Repairable Systems using Markov Modelling. Kakatiya University. Warangal. India
- [7] Ramadhan, Adil Labib. 2020. Analisis Keandalan Komponen Pesawat EC 155B1 Menggunakan Metode Weibull. Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto. Yogyakarta. Indonesia
- [8] Rouvroye, J.L. 2001. Enhanced Markov Analysis as A Method to Assess Safety in the Process Industry. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.