

JADWAL PREVENTIVE MAINTENANCE BERDASARKAN USIA KOMPONEN DRONE DI TERRA DRONE INDONESIA

Caecilia Sri Wahyuning ¹⁾, Raihan Baihaki Rasyid ^{2)*}

^{1, 2)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PHH. Mustofa No. 23, Bandung, 40124, Indonesia

*Corresponding Author: raihan.baihaki@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini fokus pada penentuan jadwal preventive maintenance yang optimal untuk komponen drone di Terra Drone Indonesia. Melalui analisis data kegagalan komponen, penelitian ini mengidentifikasi komponen frame dan propeller sebagai komponen kritis yang perlu diperhatikan. Dengan menerapkan model age replacement dan analisis distribusi Weibull, diperoleh interval penggantian optimal untuk masing-masing komponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap komponen memiliki interval penggantian berbeda yaitu 164 siklus terbang pada *frame* unit *drone* TDID-P4P-03, 145 siklus terbang pada *frame* unit *drone* TDID-P4P-06, dan 201 siklus terbang pada *propeller* unit *drone* TDID-M30T-01 dan biaya preventive maintenance yang lebih kecil dibandingkan dengan biaya corrective maintenance. Penerapan jadwal penggantian optimal ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan ketersediaan drone serta mengurangi biaya operasional.

Kata kunci: *Maintenance, Preventive Maintenance, Drone, Age Replacement, Weibull*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terra Drone Indonesia, bagian dari jaringan global penyedia layanan drone, sangat bergantung pada kinerja drone untuk menjalankan operasinya. Komponen drone mengalami penurunan kinerja seiring waktu, terutama pada fase akhir masa pakainya. Hal ini meningkatkan risiko kegagalan dan mengganggu kelancaran operasional perusahaan. Keandalan drone menjadi faktor kunci keberhasilan layanan, namun saat ini Terra Drone Indonesia belum memiliki jadwal perawatan pencegahan yang efektif. Akibatnya, kerusakan pada drone sering terjadi mendadak di lapangan, menghambat penyediaan layanan kepada pelanggan.

Perawatan berkala sangat penting untuk menjaga keandalan drone dan mencegah kerusakan yang lebih parah. Namun, terdapat *trade-off* antara biaya perawatan dan keandalan. Perawatan yang terlalu sering dapat meningkatkan biaya operasional, sementara perawatan yang jarang dapat menyebabkan kerusakan yang lebih mahal dan berdampak pada reputasi perusahaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menentukan interval penggantian komponen drone yang optimal. Dengan demikian, perusahaan dapat meminimalkan biaya perawatan tanpa mengorbankan keandalan drone dan memastikan kelancaran operasional. Beberapa penelitian terdahulu yang membahas permasalahan serupa dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Bidang	Kajian	Model Optimisasi	Penelitian Terdahulu
Penggantian Komponen	Penentuan interval jarak perawatan pencegahan	<i>Age Replacement</i>	Sulistyo, A. B., & Mutiawati, S. H. (2021). Usulan jadwal preventive maintenance komponen ban pada truk tronton 20.000 kl menggunakan metode age replacement. <i>Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya</i> , 7(2), 137-146.
Perawatan Komponen	Penentuan interval waktu dan biaya yang optimal untuk perawatan pencegahan	<i>Age Replacement</i>	Muhammad, A., Fitri, M., Farid, M., & Imani, R. (2023). Perawatan Mesin Sterilizer Menggunakan Metode Age Replacement. <i>Jurnal Teknik dan Teknologi Tepat Guna</i> , 2(3), 1-8.
Keandalan <i>Unarmed Aerial Vehicle</i> (UAV)	Perbandingan keandalan <i>drone</i> komersial dengan <i>drone</i> militer	• <i>Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS) Assessment</i> • <i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)</i>	Petritoli, E., Leccese, F., & Ciani, L. (2018). Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles. <i>Sensors</i> , 18(9), 3171.
Penggantian Komponen	Penentuan interval waktu penggantian komponen armada <i>drone</i> militer	<i>Group Replacement</i>	Guo, J., Wang, L., & Wang, X. (2022). A group maintenance method of drone swarm considering system mission reliability. <i>Drones</i> , 6(10), 269.

1.2 Tujuan

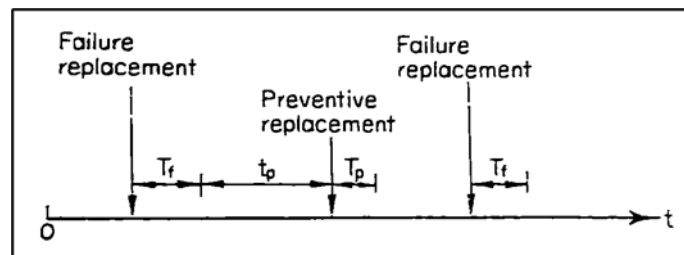
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jadwal penggantian yang optimal dengan biaya minimum untuk meningkatkan keandalan (reliability) dan ketersediaan (availability) drone berdasarkan usia komponen drone.

2. METODE

Maintenance management terdiri dari kegiatan merencanakan, mengatur, mengimplementasikan, dan pengendalian kegiatan *maintenance* (Ben-Daya et al., 2009). Sedangkan *maintenance* atau perawatan dapat didefinisikan sebagai tindakan

untuk mengatur proses penurunan fungsi pada sebuah sistem yang menuju kegagalan maupun tindakan untuk mengembalikan sistem ke kondisi operasional melalui tindakan korektif setelah kegagalan (Nakagawa, 2006). Proses *maintenance* melibatkan perbaikan komponen atau penggantian komponen yang mengalami kegagalan. Kegiatan *maintenance* terbagi menjadi tiga jenis yaitu *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *corrective maintenance*.

Metode *preventive maintenance* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini merupakan metode *age replacement*. *Age replacement* merupakan model penentuan interval waktu penggantian komponen dengan mempertimbangkan usia dari komponen. Komponen akan diganti ketika sudah mencapai usia yang ditentukan. Menurut Jardine (1973) *age replacement* diformulasikan dengan:



Gambar 1. Model *Age Replacement*
Sumber: Jardine (1973)

- T_f = Waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan kegagalan
 T_p = Waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan pencegahan
 t_p = Interval waktu penggantian komponen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisikan data komponen kritis, data biaya penggantian komponen, penentuan parameter distribusi weibull, serta perhitungan interval dengan rumus yang bersumber dari Ebeling (1997).

3.1 Komponen Kritis

Komponen kritis dipilih berdasarkan frekuensi kerusakan komponen. Komponen yang memiliki dua atau lebih riwayat kerusakan komponen akan terpilih sebagai komponen kritis. Berikut merupakan komponen yang terpilih sebagai komponen kritis:

1. *Frame* (TDID-P4P-03)

Komponen *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-03 terpilih sebagai komponen kritis karena memiliki dua kerusakan yaitu pada siklus ke-422 dan siklus ke-475. Data kerusakan *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-03 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Kerusakan Komponen *Frame* (TDID-P4P-03)

Tanggal	Tipe Drone	ID	<i>Flight Cycle</i>
02-Jan-20	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-03	422
04-Jun-20	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-03	475

2. *Frame* (TDID-P4P-06)

Komponen *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-06 terpilih sebagai komponen kritis karena memiliki dua kerusakan yaitu pada siklus ke-454 dan siklus ke-490. Data kerusakan *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-06 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Data Kerusakan Komponen *Frame* (TDID-P4P-06)

Tanggal	Tipe Drone	ID	<i>Flight Cycle</i>
30-Sep-24	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-06	454
04-Nov-24	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-06	490

3. *Propeller*

Komponen *propeller* pada unit *drone* TDID-M30T-01 terpilih sebagai komponen kritis karena memiliki dua kerusakan yaitu pada siklus ke-42 dan siklus ke-339. Data kerusakan *propeller* pada unit *drone* TDID-M30T-01 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Data Kerusakan Komponen *Frame* (TDID-M30T-01)

Tanggal	Tipe Drone	ID	<i>Flight Cycle</i>
11-Jan-24	DJI Matrice 30T	TDID-M30T-01	42
04-Sep-24	DJI Matrice 30T	TDID-M30T-01	339

3.2 Biaya Penggantian Komponen

Biaya penggantian komponen merupakan biaya yang ditanggung perusahaan ketika mengganti komponen *drone*. Biaya penggantian komponen dapat bervariasi tergantung dari jenis perawatan yang dilakukan. Biaya penggantian komponen ketika dilakukan *preventive maintenance* hanya terdiri dari biaya pembelian komponen sedangkan biaya penggantian komponen ketika terjadi *corrective maintenance* terdiri dari biaya pembelian komponen dan biaya operasional tambahan ketika terjadi kegagalan. Biaya pembelian komponen untuk setiap komponen kritis dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Biaya Pembelian Komponen

Komponen	Harga
<i>Frame</i> (DJI Phantom 4 Pro)	Rp 988.927,33
<i>Propeller</i> (DJI Matrice 30T)	Rp 720.721,00

Biaya operasional tambahan ketika terjadi *corrective maintenance* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Biaya Operasional Tambahan

Penginapan Operator	Rp 350,000.00 / Hari
Makan Operator	Rp 100,000.00 / Hari
Upah Operator	Rp 135,784.16 / Hari
Upah Tambahan	Rp 150,000.00 / Hari

3.3 Perhitungan TTF (*Time To Failure*)

Time to Failure (TTF) atau interval waktu kerusakan didapat dari selang waktu antara kejadian kerusakan yang dihitung berdasarkan banyaknya siklus terbang

diantara kerusakan. Data *time to failure* komponen *frame drone* TDID-P4P-03 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. *Time To Failure* (TDID-P4P-03)

Tanggal	Tipe Drone	ID	<i>Time to Failure</i>
02-Jan-20	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-03	422
04-Jun-20	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-03	53

Data *time to failure* komponen *frame drone* TDID-P4P-06 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8. *Time To Failure* (TDID-P4P-06)

Tanggal	Tipe Drone	ID	<i>Time to Failure</i>
30-Sep-24	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-06	454
04-Nov-24	DJI Phantom 4 Pro	TDID-P4P-06	36

Data *time to failure* komponen *propeller drone* TDID-M30T-01 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9. *Time To Failure* (TDID-M30T-01)

Tanggal	Tipe Drone	ID	<i>Time to Failure</i>
11-Jan-24	DJI Matrice 30T	TDID-M30T-01	42
04-Sep-24	DJI Matrice 30T	TDID-M30T-01	297

3.4 Penentuan Parameter Distribusi Weibull Data TTF (*Time To Failure*)

Pola distribusi yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu distribusi Weibull. Distribusi Weibull digunakan karena dapat memodelkan distribusi lain dengan merubah parameter bentuk (β) dan parameter skala (θ), distribusi Weibull dapat memodelkan distribusi lainnya seperti distribusi normal, distribusi lognormal, dan distribusi eksponensial. Perhitungan parameter distribusi Weibull komponen *frame* TDID-P4P-03 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Parameter Distribusi Weibull (TDID-P4P-03)

i	F(ti)	Xi	Yi	Xi.Yi	Xi^2	a	b	β	θ
1	0.292	-1.065	6.045	-6.436	1.134	5.790	1.829	1.829	327.069
2	0.708	0.209	3.970	0.829	0.044				
Total	1.000	-0.856	10.015	-5.607	1.177				

Perhitungan parameter distribusi Weibull komponen *frame* TDID-P4P-06 dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 11. Parameter Distribusi Weibull (TDID-P4P-06)

i	F(ti)	Xi	Yi	Xi.Yi	Xi^2	a	b	β	θ
1	0.292	-1.065	6.118	-6.514	1.134	5.521	1.565	1.565	249.793
2	0.708	0.209	3.584	0.748	0.044				
Total	1.000	-0.856	9.702	-5.766	1.177				

Perhitungan parameter distribusi Weibull komponen *propeller* TDID-M30T-01 dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 12. Parameter Distribusi Weibull (TDID-M30T-01)

i	F(ti)	Xi	Yi	Xi.Yi	Xi^2	a	b	β	θ
1	0.292	-1.065	3.738	-3.979	1.134	6.110	3.257	3.257	450.152
2	0.708	0.209	5.694	1.189	0.044				
Total	1.000	-0.856	9.431	-2.791	1.177				

Contoh perhitungan parameter distribusi Weibull:

- $F_{(ti)} = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= \frac{1 - 0,3}{2 + 0,4}$
 $= 0,292$
- $Y_i = \ln(t_i)$
 $= \ln(42)$
 $= 3,738$
- $X_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F_{(ti)}}\right)\right)$
 $= \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - 0,292}\right)\right)$
 $= -1,065$
- $X_i \cdot Y_i = -1,065 \times 3,738$
 $= -3,979$
- $X_i^2 = -1,065^2$
 $= 1,134$
- $b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$
 $= \frac{-2,791 - (-0,856)(9,431)}{2(1,177) - (-0,856)^2}$
 $= 3,257$
- $a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
 $= \frac{9,461}{2} - 3,257 \frac{-0,856}{2}$
 $= 6,110$
- $\beta = b$
 $= 3,257$
- $\theta = e^{-a/\beta}$
 $= e^{-(6,110)/3,257}$
 $= 450,152$

3.5 Perhitungan MTTF (Mean Time To Failure)

Parameter distribusi yang telah dihitung sebelumnya digunakan untuk menghitung MTTF (*Mean Time To Failure*). *Mean Time To Failure* merupakan rata-rata interval waktu kerusakan komponen. *Mean Time To Failure* dari ketiga komponen kritis dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 13. *Mean Time To Failure*

Komponen	MTTF
Frame (TDID-P4P-03)	326
Frame (TDID-P4P-06)	249
Propeller (TDID-M30T-01)	449

Contoh perhitungan MTTF komponen *frame* TDID-P4P-03:

- $$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \\ &= (327,069)(0,99824) \\ &= 326,493 \approx 326 \text{ Cycle} \end{aligned}$$

3.6 Perhitungan *Cost Of Preventive Maintenance*

Cost of Preventive Maintenance (C_p) merupakan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan setiap melakukan perawatan. Perhitungan *Cost of preventive Maintenance* untuk komponen *frame* dan *propeller* dapat dilihat pada pemaparan dibawah ini.

Tabel 14. *Cost Of Preventive Maintenance*

Komponen	Cost of Preventive Maintenance (C_p)
Frame (TDID-P4P-03)	Rp 988.927,33
Frame (TDID-P4P-06)	Rp 988.927,33
Propeller (TDID-M30T-01)	Rp 720.721,00

Contoh Perhitungan *Cost Of Preventive Maintenance*:

- $$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian} &= \text{Harga Komponen} \times \text{Jumlah Komponen} \\ &= \text{Rp } 988.927,33 \times 1 \\ &= \text{Rp } 988.927,33 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Cost of Preventive} &= \text{Biaya Pembelian Komponen} \\ \text{Maintenance (Cp)} &= \text{Rp } 988.927,33 \end{aligned}$$

3.7 Perhitungan *Cost of Failure*

Cost of Failure (C_f) merupakan biaya yang akan ditanggung perusahaan jika terjadi kegagalan yang menghambat kegiatan operasional. Perhitungan *Cost of Failure* untuk komponen *frame* dan *propeller* dapat dilihat pada pemaparan dibawah ini.

Tabel 15. *Cost Of Failure*

Komponen	Cost of Failure (C_f)
Frame (TDID-P4P-03)	Rp 5.403.632,30
Frame (TDID-P4P-06)	Rp 5.403.632,30
Propeller (TDID-M30T-01)	Rp 5.135.425,97

Contoh Perhitungan *Cost Of Failure*:

- $$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian} &= \text{Harga Komponen} \times \text{Jumlah Komponen} \\ &= \text{Rp } 988.927,33 \times 1 \end{aligned}$$

- $$= \text{Rp } 998.927,33$$
- Biaya Operasional Tambahan

$$= (\text{Biaya Penginapan Operator} + \text{Biaya Makan Operator} + \text{Upah Operator} + \text{Upah Tambahan Operator}) \times \text{Jumlah Operator} \times \text{Waktu Pengiriman Komponen}$$

$$= (\text{Rp } 350.000,00 + \text{Rp } 100.000,00 + \text{Rp } 135.784,16 + \text{Rp } 150.000,00) \times 2 \text{ Orang} \times 3 \text{ Hari}$$

$$= \text{Rp } 4.414.704,33$$
- Cost of Failure (C_f)

$$= \text{Biaya Pembelian Komponen} + \text{Biaya Operasional Tambahan}$$

$$= \text{Rp } 998.927,33 + \text{Rp } 4.414.704,33$$

$$= \text{Rp } 5.403.632,30$$

3.8 Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen

Interval waktu penggantian komponenn ditentukan berdasarkan ekspektasi biaya perawatan pencegahan ($C_{(tp)}$). Interval dengan ekspektasi biaya perawatan pencegahan ($C_{(tp)}$) merupakan interval yang akan dipilih. Penentuan interval waktu penggantian komponen *frame* dan *propeller* dapat dilihat pada pemaparan dibawah ini.

1. Komponen *Frame* (TDID-P4P-03)

Nilai $C_{(tp)}$ paling rendah untuk komponen *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-03 merupakan Rp 13.960,573 pada interval 164 siklus terbang. Perhitungan interval waktu penggantian komponen *frame* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 16. Interval Waktu Penggantian Komponen *frame* unit *drone* TDID-P4P-03

No	tp (Cycle)	R(tp)	F(tp)	M(tp)	C(tp)
1	161	0.7606	0.2394	146.5188	Rp 13,962.336
2	162	0.7582	0.2418	147.2770	Rp 13,961.377
3	163	0.7559	0.2441	148.0329	Rp 13,960.792
4	164	0.7535	0.2465	148.7864	Rp 13,960.573
5	165	0.7511	0.2489	149.5375	Rp 13,960.711
6	166	0.7487	0.2513	150.2863	Rp 13,961.199
7	167	0.7463	0.2537	151.0326	Rp 13,962.028

2. Komponen *Frame* (TDID-P4P-06)

Nilai $C_{(tp)}$ paling rendah untuk komponen *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-06 merupakan Rp 20.477,673 pada interval 145 siklus terbang. Perhitungan interval waktu penggantian komponen *frame* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 17. Interval Waktu Penggantian Komponen *frame* unit *drone* TDID-P4P-03

No	tp (Cycle)	R(tp)	F(tp)	M(tp)	C(tp)
1	142	0.6602	0.3398	121.5348	Rp 20,479.417
2	143	0.6572	0.3428	122.1920	Rp 20,478.395
3	144	0.6542	0.3458	122.8462	Rp 20,477.818
4	145	0.6512	0.3488	123.4974	Rp 20,477.673
5	146	0.6481	0.3519	124.1455	Rp 20,477.948
6	147	0.6451	0.3549	124.7907	Rp 20,478.632
7	148	0.6421	0.3579	125.4328	Rp 20,479.712

3. Komponen *Propeller* (TDID-M30T-01)

Nilai $C_{(tp)}$ paling rendah untuk komponen *propeller* pada unit drone TDID-M30T-01 merupakan Rp 5.206,455 pada interval 201 siklus terbang. Perhitungan interval waktu penggantian komponen *propeller* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 18. Interval Waktu Penggantian Komponen *propeller* unit *drone* TDID-M30T-01

No	tp (Cycle)	R(tp)	F(tp)	M(tp)	C(tp)
1	198	0.933419	0.066581	194.8235	Rp 5,208.086
2	199	0.932355	0.067645	195.7559	Rp 5,207.263
3	200	0.931281	0.068719	196.6871	Rp 5,206.720
4	201	0.930196	0.069804	197.6173	Rp 5,206.455
5	202	0.9291	0.0709	198.5464	Rp 5,206.465
6	203	0.927992	0.072008	199.4744	Rp 5,206.747
7	204	0.926874	0.073126	200.4013	Rp 5,207.299

Contoh perhitungan interval waktu penggantian komponen berdasarkan komponen *frame*:

- $R(tp) = e^{-(t/\theta)^\beta}$
 $= e^{-(256/344,609)^{2,688}}$
 $= 0,638$
- $F(tp) = 1 - R(tp)$
 $= 1 - 0,638$
 $= 0,362$
- $M(tp) = \int_0^{tp} e^{-(t/\theta)^\beta} dt$
 $= \int_0^{256} e^{-(t/344,609)^{2,688}} dt$
 $= 288,269$
- $C(tp) = \frac{\text{Ekspektasi Biaya Perawatan per Siklus}}{\text{Ekspektasi Lama Waktu Siklus}}$
- $= \frac{C_p \times R_{(tp)} + C_f \times F_{(tp)}}{M(tp)}$
- $= \frac{1.588.437,26 \times 0,638 + 3.795.789,74 \times 0,362}{288,269}$
- $= \text{Rp } 10.461,217 / \text{Cycle}$

4. KESIMPULAN

Berikut merupakan beberapa kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

- a. Komponen yang terpilih sebagai komponen kritis yaitu komponen *frame* pada unit *drone* TDID-P4P-03 dan TDID-P4P-06 serta *propeller* pada unit drone TDID-M30T-01.
- b. Parameter β pada distribusi Weibull ketiga komponen kritis bernilai diatas 1,5 sehingga dapat disimpulkan ketiga komponen tersebut mengalami kerusakan pada fase *wearout* dalam *bathtub curve*.
- c. Setiap komponen memiliki biaya *preventive maintenance* yang lebih kecil dibanding biaya *corrective maintenance*
- d. Komponen *frame* pada unit TDID-P4P-03 memiliki interval penggantian optimal sebesar 164 siklus terbang dengan biaya penggantian per siklus sebesar Rp 13.960,573.
- e. Komponen *frame* pada unit TDID-P4P-06 memiliki interval penggantian optimal sebesar 145 siklus terbang dengan biaya penggantian per siklus sebesar Rp 20.477,673.
- f. Komponen *propeller* pada unit drone TDID-M30T-01 memiliki interval penggantian optimal sebesar 201 siklus terbang dengan biaya penggantian per siklus sebesar Rp 5.206,455.

DAFTAR PUSTAKA

- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Knezevic, J., Ait-Kadi, D., & Raouf, A. (2009). Handbook of maintenance management and engineering. In *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability & Maintainability Engineering* (p. 486). <https://onlinelibrary.wiley.com>
- Guo, J., Wang, L., & Wang, X. (2022). A group maintenance method of drone swarm considering system mission reliability. *Drones*, 6(10), 269.
- Jardine, A. K. S. (1973). *Maintenance , and Reliability and Reliability*.
- Muhammad, A., Fitri, M., Farid, M., & Imani, R. (2023). Perawatan Mesin Sterilizer Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Teknik dan Teknologi Tepat Guna*, 2(3), 1-8.
- Nakagawa, T. (2006). Maintenance Theory of Reliability. In *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4588-2>
- Petritoli, E., Leccese, F., & Ciani, L. (2018). Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles. *Sensors*, 18(9), 3171.
- Sulistyo, A. B., & Mutiawati, S. H. (2021). Usulan jadwal preventive maintenance komponen ban pada truk tronton 20.000 kl menggunakan metode age replacement. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 7(2), 137-146.