



Penjadwalan *Preventive Maintenance* Multi-Subsistem Mesin Cyril Bath menggunakan *Mixed Integer Non Linear Programming* (Studi Kasus di PT.Dirgantara Indonesia)

Fida Faishal*, Budhi Handoko, Yeny Krista Franty

Departemen Statistika, FMIPA Universitas Padjadjaran

*E-mail: fidafaishal03@gmail.com

Abstrak

PT. Dirgantara Indonesia adalah industri pesawat terbang satu-satunya di Indonesia dan di Asia Tenggara yang dimiliki oleh Pemerintah Indonesia. Dalam kegiatan produksinya, PT. Dirgantara Indonesia menerima pesanan pembuatan komponen pesawat dari *customer*. Kualitas produk dan ketepatan waktu menjadi prioritas utama *customer* yang menjadi tuntutan setiap industri. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kualitas produk dan kelancaran kegiatan produksi adalah mesin. Setiap mesin perlu dirawat secara terjadwal, sehingga berada dalam keadaan yang optimum saat digunakan. Jadwal *preventive maintenance* yang optimum dapat mengurangi biaya perawatan dan mengurangi peluang kegagalan. Salah satu mesin yang digunakan dalam proses produksi yaitu mesin Cyril Bath. Mesin ini memiliki beberapa subsistem. *Hydraulic Unit* dan *Electric Panel and Control* adalah subsistem dengan frekuensi kerusakan terbanyak. Oleh karena itu, peneliti akan menentukan jadwal optimum *preventive maintenance* multi-subsistem yang difokuskan pada subsistem *Hydraulic Unit* dan *Electric Panel and Control*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Mixed Integer Non Linear Programming* dari Kamran. Model optimasi Kamran ini dapat meminimumkan total biaya perawatan atau memaksimumkan reliabilitas.

Kata Kunci: *Preventive Maintenance, Mixed Integer Non Linear Programming*

1. Pendahuluan

Mesin merupakan salah satu jenis alat yang digunakan oleh industri manufaktur. Mesin yang digunakan secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama akan mengakibatkan kerusakan atau turunnya performa dari mesin tersebut. Kerusakan sebuah mesin akan berakibat pada keterlambatan waktu jadinya suatu produk. Oleh karena itu, perusahaan harus melakukan perawatan atau perbaikan pada mesin untuk menghindari keterlambatan jadinya suatu produk.

Perbaikan yang hanya dilakukan pada saat mesin rusak disebut dengan *corrective maintenance*, sedangkan perbaikan yang dilakukan secara terjadwal dengan tujuan untuk mencegah kerusakan pada mesin disebut dengan *preventive maintenance*. *Preventive maintenance* sering diimplementasikan untuk mengurangi tingkat kerusakan pada mesin (Savsar, 2013). Selain dapat mengurangi tingkat kerusakan mesin, jadwal *preventive maintenance* yang optimum juga dapat meminimumkan biaya perawatan atau memaksimumkan reliabilitas dari mesin tersebut.

Beberapa penelitian pada bidang optimasi penjadwalan telah dilakukan. Savsar (2013) melakukan analisis dan penjadwalan *preventivemaintenance* pada 41 stasiun pengisian bahan bakar menggunakan model *linear programming* sehingga dapat meminimumkan biaya total *maintenance*. Moghaddam (2010) menggunakan model *nonlinear mixed-integer*

programming untuk menjadwalkan *preventive maintenance* dan *replacement* pada sistem yang multi-komponen yang dapat meminimumkan biaya total pemeliharaan atau memaksimumkan reliabilitas mesin. Fithri (2010) melakukan optimasi *preventive maintenance* dan penjadwalan penggantian komponen mesin kompresor menggunakan *mixed integer non linear programming* dari Kamran yang dapat meminimumkan biaya total atau memaksimumkan reliabilitas mesin tersebut.

Penelitian ini akan melakukan optimasi jadwal *preventive maintenance* dan *replacement* multi-subsistem menggunakan model *mixed integer non linear programming* atau yang lebih lanjut disebut dengan model Kamran untuk multi-subsistem dengan fungsi tujuan meminimumkan biaya total pemeliharaan atau memaksimumkan reliabilitas mesin.

2. Metode

Metode yang digunakan untuk menentukan jadwal optimum *preventive maintenance* multi-subsistem adalah *Mixed Integer Non Linear Programming* atau yang dikenal dengan model Kamran, karena model Kamran dapat meminimumkan biaya total pemeliharaan atau dapat memaksimumkan reliabilitas mesin.



2.1 Objek dan Data Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah subsistem *Hydraulic Unit, Electronic Panel and Control*, dan *Control Unit* mesin Cyril Bath di PT. Dirgantara Indonesia. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Departemen Perawatan Fasilitas Produksi mengenai waktu kerusakan dan biaya perawatan. Data waktu kerusakan dimulai dari Januari 2011 sampai dengan Mei 2016.

2.2 Metode Analisis Data

Berikut ditunjukkan langkah-langkah untuk mendapatkan jadwal *preventive maintenance* optimum dengan menggunakan model Kamran.

Uji Kecocokan Distribusi

Uji Kecocokan distribusi yang digunakan pada penelitian adalah Uji Mann dan Uji Bartlett.

Uji Mann

$H_0: F_n(T) = F_0(T)$ (data waktu antar kerusakan/waktu perbaikan mesin Jobs tidak mengikuti distribusi Weibull)

$H_1: F_n(T) \neq F_0(T)$ (data waktu antar kerusakan/waktu perbaikan mesin Jobs tidak mengikuti distribusi Weibull)

$\alpha = 5\%$

Statistik Uji:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(lnt_{i+1} - lnt_i)/M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(lnt_{i+1} - lnt_i)/M_i]}$$

dengan,

$$k_1 = \frac{r}{2} \text{ dan } k_2 = \frac{r-1}{2}$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0.5}{(n + 1) + 0.25} \right) \right]$$

Kriteria Uji: Tolak H_0 jika $M_{hitung} > M_{tabel} = F_{(\alpha, V1, V2)}$, terima dalam hal lainnya.

Uji Bartlett

$H_0: F_n(T) = F_0(T)_{eksponensial}$ (data waktu antar kerusakan/waktu perbaikan mesin Jobs mengikuti distribusi Eksponensial).

$H_1: F_n(T) \neq F_0(T)_{eksponensial}$ (data waktu antar kerusakan/waktu perbaikan mesin Jobs tidak mengikuti distribusi Eksponensial).

$\alpha = 5\%$

Statistik Uji :

$$B = \frac{2r \left(\ln \left[\frac{1}{r} \right] \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i}{1 + \frac{r+1}{6r}}$$

Terima $H_0 \lambda_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}^2 < B < \lambda_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2$ dan tolak dalam hal lainnya.

Mean Time to Failure (MTTF)

MTTF untuk data waktu antar kerusakan yang berdistribusi Weibull didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

dengan,

θ : parameter skala distribusi waktu kerusakan

β : parameter bentuk distribusi waktu kerusakan

Mean Time to Repair (MTTR)

$$MTTR = \theta^* \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta^*} \right)$$

dengan :

θ^* : parameter skala distribusi waktu perbaikan

β^* : parameter bentuk distribusi waktu perbaikan

Reliabilitas sebelum dan setelah preventive maintenance

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$R_m(t) = R(t) \quad ; 0 \leq t \leq t_p$$

$$R_m(t) = R(t_p) \cdot R(t - t_p) \quad ; t_p \leq t \leq 2t_p$$

$$R_m(t) = R(t_p)^n \cdot R(t - nt_p) \quad ; nt_p \leq t \leq (n + 1)t_p$$

dengan,

n : jumlah perawatan

t_p : interval waktu preventive maintenance

$R(t)$: reliabilitas tanpa preventive maintenance

$R_m(t)$: reliabilitas dengan preventive maintenance

$R(t_p)^n$: reliabilitas hingga n selang waktu perawatan

$R(t - nt_p)$: reliabilitas untuk waktu $t - nt_p$ dari tindakan preventive maintenance yang terakhir.

Frekuensi Pemeriksaan Sebelum Preventive Maintenance

$$k_f = \frac{\text{Jam Kerja per Bulam}}{MTTF}$$

Frekuensi Pemeriksaan Setelah Preventive Maintenance

$$k_p = \frac{\text{Jam Kerja per Bulam}}{t_p}$$

Failure Cost

$$C_F = Tc(tf) \times T_f \times k_f$$

dimana

$$Tc(tf) = \frac{C_f}{t_f + T_f}$$

$C_f = (\text{biaya teknisi} + \text{biaya loss product} + \text{biaya komponen}) \times T_f$



dengan,

- C_f : biaya kerusakan
- T_f : nilai *MTTR*
- t_f : nilai *MTTF*
- k_p : frekuensi kerusakan sebelum *preventive maintenance*

Preventive Cost

$$C_M = Tc(tp) \times T_p \times k_p$$

dimana

$$Tc(tp) = \frac{\{C_p \times R(tp)\} + \{C_f \times (1 - R(tp))\}}{\{t_p \times R(tp)\} + \{t_f \times (1 - R(tp))\}}$$

dengan,

- C_p : biaya perawatan
= (biaya teknisi + biaya komponen) x T_p
- T_p : waktu perbaikan setelah adanya penjadwalan
- t_p : interval waktu *preventive maintenance*
- $R(tp)$: reliabilitas yang diharapkan
- k_p : frekuensi kerusakan setelah *preventive maintenance*

Model 1-Meminimumkan biaya total pemeliharaan dengan batasan reliabilitas

Fungsi Tujuan:

$$\text{Min Biaya total} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T [C_{F_i} \cdot \lambda_i ((X'_{i,j})^{\beta_i} - (X_{i,j})^{\beta_i}) + C_{M_i} \cdot m_{i,j} + C_{R_i} \cdot r_{i,j}] + \sum_{j=1}^T [Z(1 - \prod_{i=1}^N (1 - (m_{i,j} + r_{i,j})))]$$

Fungsi Kendala:

$$X_{i,1} = 0$$

$$X_{i,j} = (1 - m_{i,j-1})(1 - r_{i,j-1})X'_{i,j-1} + m_{i,j-1}(\alpha_i \cdot X'_{i,j-1})$$

$$i=1, \dots, N \text{ dan } j=2, \dots, T$$

$$X'_{i,j} = X_{i,j} + \frac{T}{j}$$

$$m_{i,j} + r_{i,j} \leq 1$$

$$\prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T e^{-[\lambda_i((X'_{i,j})^{\beta_i} - (X_{i,j})^{\beta_i})]} \geq R(tp)$$

$$m_{i,j}, r_{i,j} = 0 \text{ atau } 1$$

$$X_{i,j}, X'_{i,j} \geq 0$$

$$m_{i,j} \begin{cases} 1 & \text{jika dilakukan perawatan komponen } i \\ & \text{pada periode ke } -j \\ 0 & \text{untuk yang lainnya} \end{cases}$$

$$r_{i,j} \begin{cases} 1 & \text{jika dilakukan penggantian komponen } i \\ & \text{pada periode ke } -j \\ 0 & \text{untuk yang lainnya} \end{cases}$$

$$i=1, \dots, N \text{ dan } j=2, \dots, T$$

Model 2-Memaksimumkan reliabilitas dengan batasan anggaran pemeliharaan

Fungsi Tujuan:

$$\text{Max Reliabilitas} = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T e^{-[\lambda_i((X'_{i,j})^{\beta_i} - (X_{i,j})^{\beta_i})]}$$

Fungsi Kendala:

$$X_{i,1} = 0$$

$$X_{i,j} = (1 - m_{i,j-1})(1 - r_{i,j-1})X'_{i,j-1} + m_{i,j-1}(\alpha_i \cdot X'_{i,j-1})$$

$$i=1, \dots, N \text{ dan } j=2, \dots, T$$

$$X'_{i,j} = X_{i,j} + \frac{T}{j}$$

$$m_{i,j} + r_{i,j} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T [C_{F_i} \cdot \lambda_i ((X'_{i,j})^{\beta_i} - (X_{i,j})^{\beta_i}) + C_{M_i} \cdot m_{i,j} + C_{R_i} \cdot r_{i,j}] + \sum_{j=1}^T [Z(1 - \prod_{i=1}^N (1 - (m_{i,j} + r_{i,j})))] \leq GB$$

$$m_{i,j}, r_{i,j} = 0 \text{ atau } 1$$

$$X_{i,j}, X'_{i,j} \geq 0$$

$$m_{i,j} \begin{cases} 1 & \text{jika dilakukan perawatan komponen } i \\ & \text{pada periode ke } -j \\ 0 & \text{untuk yang lainnya} \end{cases}$$

$$r_{i,j} \begin{cases} 1 & \text{jika dilakukan penggantian komponen } i \\ & \text{pada periode ke } -j \\ 0 & \text{untuk yang lainnya} \end{cases}$$

$$i=1, \dots, N \text{ dan } j=2, \dots, T$$

Notasi-notasi pada Model Kamran

$\hat{\lambda}_i = \frac{1}{\theta_i}$, dengan θ_i adalah parameter skalakomponen ke- i

$\hat{\beta}_i$: parameter bentuk komponen ke- i

C_{F_i} : biaya kerusakan

C_{M_i} : biaya *preventive maintenance*

C_{R_i} : biaya pergantian komponen

Z : biaya tetap *maintenance*

GB : anggaran perusahaan untuk perawatan

T : perencanaan periode waktu pemeliharaan

J : interval waktu

α_i : *improvement factor* komponen ke- i

$R(tp)$: reliabilitassistem yang diharapkan

$X_{i,j}$: umur efektif komponen ke- i pada waktu ke- j

$X'_{i,j}$: umur efektif komponen ke- i diakhir waktu ke- j

Model *mixed integer non linear programming* diselesaikan dengan menggunakan software LINGO 16.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini disajikan hasil uji kecocokan distribusi, penaksiran parameter, dan perhitungan *MTTF* untuk subsistem *Hydraulic Unit, Electric Panel and Control*, dan *Control Unit* untuk data waktu antar kerusakan.



Tabel 1. Hasil Uji Kecocokan Distribusi, Parameter, dan MTTF

Subsistem	Distribusi	Parameter	MTTF
Hydraulic Unit	Weibull	$\theta=422.433$ $\beta=1.053$	413.934
Electronic Panel and Control	Weibull	$\theta=922.578$ $\beta=0.681$	1201.086
Control Unit	Weibull	$\theta=1497.037$ $\beta=1.057$	1466.917

Tabel 2 menyajikan hasil uji kecocokan distribusi, penaksiran parameter, dan MTTR dari data waktu antar perbaikan subsistem *Hydraulic Unit*, *Electric Panel and Control*, dan *Control Unit* untuk data waktu antar kerusakan.

Tabel 2. Hasil uji kecocokan distribusi, parameter, dan MTTR

Subsistem	Distribusi	Parameter	MTTR
Hydraulic Unit	Weibull	$\theta=17.987$ $\beta=0.668$	23.91
Electronic Panel and Control	Weibull	$\theta=11.637$ $\beta=0.861$	12.551
Control Unit	Weibull	$\theta=14.25$ $\beta=0.764$	16.726

Setelah mengetahui nilai parameter dan MTTF, lalu dihitung pula frekuensi pemeriksaan sebelum dan setelah *preventive maintenance* dengan hasil dapat dilihat pada table 3.

Tabel 3. Frekuensi pemeriksaan sebelum dan setelah *preventive maintenance*

Subsistem	kf	kp
Hydraulic Unit	0.850	4.679
Electronic Panel and Control	0.293	5.499
Control Unit	0.240	1.312

Rincian biaya yang dibutuhkan untuk menghitung biaya kerusakan, biaya maintenance dan biaya pergantian komponen disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rincian biaya *maintenance*

Subsistem	Biaya Teknisi	Loss Product	Biaya komponen
Hydraulic Unit	40000	6731878.56	8443773
Electronic Panel and Control	40000	6731878.56	1591366
Control Unit	40000	6731878.56	7829020

Perhitungan biaya kerusakan, biaya maintenance dan biaya pergantian dilakukan dengan melibatkan biaya pada tabel 4 sehingga hasilnya disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan biaya kerusakan, biaya perawatan, dan biaya pergantian komponen

Subsistem	C_F	C_M	C_R
Hydraulic Unit	343950723	313518706	354638494
Electronic Panel and Control	103884169	41674073	66837390
Control Unit	241464630	99944882	109606283

Hasil dari seluruh perhitungan diatas secara keseluruhan dapat dilihat pada table 6 yang akan dijadikan input pada *software* LINGO 16.

Tabel 6 : Input Model Optimasi

	Hydraulic Unit	Electronic Panel and Control	Control Unit
T	36	36	36
J	36	36	36
λ	0.00237	0.00108	0.00067
β	1.053	0.681	1.057
F_Cost	343950723	103884169	241464630
M_Cost	313518706	41674073	99944882
R_Cost	354638494	66837390	109606283
Z	150216031	150216031	150216031
RR	0.85	0.85	0.85
GB	8319605922	8319605922	8.32E+09

Optimasi dengan model 2 dilakukan menggunakan menginputkan nilai-nilai pada tabel 6 pada *software* LINGO 16 sehingga output jadwalnya dapat dilihat pada tabel 6.



Tabel 6. Jadwal *preventive maintenance* multi-subsistem mesin Cyril Bath selama 36 bulan

Bulan ke-	1	2	3	4	5	6
Hydraulic Unit	-	-	R	-	R	-
Electronic Panel and Control	-	-	-	-	-	-
Control Unit	-	-	-	-	M	-
Bulan ke-	7	8	9	10	11	12
Hydraulic Unit	R	-	R	-	-	R
Electronic Panel and Control	-	-	R	-	-	-
Control Unit	M	-	M	-	-	M
Bulan ke-	13	14	15	16	17	18
Hydraulic Unit	-	R	-	R	R	-
Electronic Panel and Control	-	-	-	-	-	-
Control Unit	-	M	-	M	-	-
Bulan ke-	19	20	21	22	23	24
Hydraulic Unit	R	-	R	-	-	R
Electronic Panel and Control	-	-	-	-	-	-
Control Unit	M	-	M	-	R	M
Bulan ke-	25	26	27	28	29	30
Hydraulic Unit	-	R	-	R	-	-
Electronic Panel and Control	-	-	-	-	-	-
Control Unit	-	M	-	M	-	-
Bulan ke-	31	32	33	34	35	36
Hydraulic Unit	R	-	R	-	-	-
Electronic Panel and Control	-	-	-	-	-	-
Control Unit	M	-	-	-	-	-

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, apabila perusahaan menargetkan reliabilitas mesin 85% dengan anggaran Rp2,773,201,974/tahun maka dengan model Kamran 2 jadwal *preventive maintenance* optimum selama 36 bulan yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 6 yang akan meningkatkan reliabilitas mesin hingga 89%.

Daftar Pustaka

Fithri, P. 2010. *Optimasi Preventive Maintenance dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor dengan Menggunakan Mixed Integer Non Linier Programming dari Kamran*. Salemba : Tesis Fakultas Teknik Program Pasca Sarjana Teknik Industri Universitas Indonesia.

Moghaddam, K. S. 2010. *Preventive Maintenance and Replacement Scheduling: Models and Algorithms*. USA: University of Louisville.

Savsar, M. 2013. Analysis and scheduling of maintenance operation for a chain of gas station. *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 2013.