

PENENTUAN JADWAL PENGGANTIAN SUBSISTEM KRITIS PADA MESIN CNC – CINCINNATI MILACRON (STUDI KASUS DI PT. XYZ)

Jahny Sastradiharja¹, Feisal Rezaldi²Universitas Jenderal Achmad Yani^{1,2}jahnysast@gmail.com^{1,2}

Abstrak

Penelitian ini dilakukan di PT. XYZ pada mesin CNC Cincinnati Milacron Double Gantry All F yang memiliki *downtime* mencapai 2870,58 jam dengan frekuensi kerusakan mencapai 108 kali. Pemilihan subsistem kritis dengan metoda FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) berdasarkan RPN (*Risk Priority Number*) terbesar. Hasil perhitungan *Risk Priority Number* subsistem terpilih adalah subsistem Axis 210, *Spindle unit* 112 dan subsistem *Loob & Coolant* 140. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan mengenai penjadwalan pemeriksaan dan penggantian pada subsistem kritis adalah Subsistem Axis, *Mean Time To Failure* 1391 jam atau 87 hari, Interval penggantian 1034 jam atau 65 hari sekali dengan total *downtime* 179 jam/tahun. Subsistem *Spindle Unit*, *Mean Time To Failure* 2338 jam atau 146 hari, Interval penggantian 1701 jam atau 106 hari sekali dengan total *downtime* 43 jam/tahun. Subsistem *Lube & Coolant*, *Mean Time To Failure* 2243 jam atau 140 hari, Interval penggantian 1655 jam atau 103 hari sekali dengan total *downtime* 113 jam/tahun

Kata Kunci :

Downtime, Preventive Maintenance, Age Replacement

Abstract

This research was conducted at PT. XYZ on the Cincinnati Milacron Double Gantry All F CNC machine which has a *downtime* of 2870.58 hours with a failure frequency of 108 times. Selection of critical subsystems using the FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) method based on the largest RPN (*Risk Priority Number*). The results of the calculation of the *Risk Priority Number* for the selected subsystem are the Axis 210 subsystem, the *Spindle unit* 112 and the *Loob & Coolant* 140 subsystem. Replacement interval of 1034 hours or once in 65 days with a total *downtime* of 179 hours / year. *Spindle Unit* Subsystem, *Mean Time To Failure* 2338 hours or 146 days, Replacement interval of 1701 hours or 106 days with total *downtime* of 43 hours / year. *Lube & Coolant* subsystem, *Mean Time To Failure* 2243 hours or 140 days, Replacement interval 1655 hours or 103 days with total *downtime* 113 hours / year

Keyword :

Downtime, Preventive Maintenance, Age Replacement

I. PENDAHULUAN

PT. XYZ sedang menghadapi salah satu masalah tingginya *downtime* mesin-mesin produksi. Berdasarkan data tahun 2014 - 2018, mesin CNC Cincinnati Milacron Double Gantry All F memiliki *downtime* yang terbesar dengan total *downtime* mencapai 2870,58 jam dengan frekuensi kerusakan mencapai 108 kali. Mesin CNC Cincinnati Milacron ini adalah salah satu fasilitas kunci dan mesin yang sangat besar perannya dalam aktivitas pembuatan *part* berukuran besar yang tidak mampu dibuat oleh mesin-mesin lainnya. Mesin tersebut sering mengalami kerusakan yang tidak dapat diprediksi. Tabel 1 adalah data kerusakan subsistem pada mesin Cincinnati Milacron Double Gantry All F.

TABEL I
JENIS KERUSAKAN PADA MESIN CINCINNATI MILACRON F

No	Jenis Kerusakan (Subsistem)	Frekuensi Kerusakan (4 Tahun)	<i>Downtime</i> (Jam)	Persentase <i>Downtime</i>	Kumulatif <i>Downtime</i> (%)
1	Axis	28	655.75	22.8	22.8
2	Spindle Unit	18	1597.75	55.7	78.5
3	Machine Unit	16	105.25	3.7	82.2
4	Lube & Coolant	21	291.16	10.1	92.3
5	Hydraulic Unit	2	7.00	0.2	92.6
6	Cooling Unit	1	5.50	0.2	92.7
7	Air Pressure Unit	2	19.00	0.7	93.4

8	CNC Unit	5	88.5	3.1	96.5
9	Electric Panel	8	73.67	2.6	99.1
10	Servo Axis	4	16.00	0.6	99.6
11	Inverter Unit	2	6.50	0.2	99.8
12	Lighting	1	4.50	0.2	100
Total		108	2870.58	100.0	

Pemilihan subsistem kritis dengan metoda FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) berdasarkan RPN (*Risk Priority Number*) terbesar. Hasil perhitungan *Risk Priority Number* subsistem terpilih adalah subsistem Axis 210, *Spindle unit* 112 dan subsistem *Loob & Coolant* 140. *Spindel* Unit berfungsi menggerakkan mata pahat untuk memakan atau memotong benda kerja. *Lube & Coolant* berfungsi mengatur distribusi pelumas dan pendingin mesin. *Axis X* berfungsi menentukan arah potong mata pahat pada sumbu x benda kerja (sumbu penggerak). *Axis Y* berfungsi menentukan arah potong mata pahat pada sumbu Y benda kerja (sumbu penggerak). *Axis Z* berfungsi menentukan arah potong mata pahat (cutter) pada sumbu Z benda kerja (sumbu penggerak). *Axis A & B* berfungsi menentukan arah potong mata pahat pada sumbu A,B (Miring) benda kerja (sumbu penggerak). Penelitian ini akan membuat model penjadwalan *preventive maintenance* yang sesuai untuk subsistem kritis guna meminimumkan *downtime*.

II. METODE

1. Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Menurut Pardiyono [1] Fungsi FMEA yaitu menyeleksi bermacam-macam jenis keandalan yang dipengaruhi oleh mode kegagalan komponen. Kebijakan prioritas FMEA adalah perbaikan berdasarkan nilai *Risk Priority Analysis* (RPN) terbesar dulu. Nilai RPN dihasilkan dari perkalian bobot *severity*, *occurrence*, *detection*.

Perawatan merupakan semua aktivitas yang mempertahankan kondisi peralatan, atau mengembalikannya ke dalam kondisi tertentu (Dhillon [2]). Menurut Ebeling [3], pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal secara periodik untuk kegiatan inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian dan penyamaan dilakukan. Menurut Muhammad dalam Pardiyono & Hartanto [4], dalam mengidentifikasi distribusi dapat dilakukan dengan *Index of Fit (r)* dan *Goodness of Fit Test*. *Index of Fit* yang dipergunakan adalah *Least-Square Curve Fitting* seperti dibawah ini :

$$F(t_i) = \frac{l - 0,3}{n + 0,4}$$

Keterangan :

i = data waktu ke-t

n = r = jumlah data kerusakan

$$Index\ of\ fit\ (r) = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

Goodness of Fit Test dilakukan dengan cara membandingkan dua hipotesis yang berlawanan yaitu : H_0 adalah data kerusakan atau perbaikan mendekati suatu distribusi tertentu, dan H_1 merupakan data kerusakan atau perbaikan tidak menghampiri suatu distribusi tertentu. Menurut Jardin dan Tsang dalam Pardiyono & Suryani [5] Distribusi Eksponensial diuji dengan Uji *Bartlett*. Distribusi Normal dan lognormal dengan Uji *Kolmogorov-Smirnov*, serta Distribusi *Weibull* dengan Uji *Mann's*.

a. Distribusi Normal

Keterangan: $x_i = t_i$

$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$, dengan menggunakan tabel.

t_i adalah data ke-i

Parameter: $\sigma = \frac{1}{b}$ dan $\mu = -\frac{a}{b}$

b. Distribusi Lognormal

Keterangan : $x_i = \ln t_i$

$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$

$$\text{parameter : } s = \frac{1}{b} \text{ dan } t_{med} = e^{-sa}$$

c. Distribusi Weibull

Keterangan: $x_i = \ln t_i$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right]$$

$$\text{Parameter: } \beta = 1/b \text{ dan } \alpha = e^{-\frac{a}{b}}$$

d. Distribusi Eksponensial

Keterangan : $x_i = t_i$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right)$$

$$\text{Parameter: } \lambda = b$$

Keterangan :

i = urutan data kerusakan (1,2,3,...n)

 t_i = data kerusakan ke-i2. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit Test*)Uji *Mann's* untuk Distribusi Weibull. Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah:

H0 : Data berdistribusi Weibull

H1 : Data tidak berdistribusi Weibull

Uji statistiknya yaitu:

$$M = \frac{K2 \sum_{i=k1+1}^{r-1} [(lnt1 + 1) - (lnt1)]/Mi}{K1 \sum_{i=1}^{k1} [(lnt1 + 1) - lnt1]/Mi}$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_1$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right]$$

$$k1 \frac{r}{2}, \text{ dan } k2 \frac{r-1}{2}$$

Keterangan:

ti : Data waktu antar kerusakan ke -i

N : Jumlah data waktu antar kerusakan

Mi : Nilai pendekatan Mann untuk data ke-i

M : Nilai perhitungan distribusi Weibull

 $M_{0.05;k2;k1}$: Nilai distribusi weibull

r : Banyaknya data

Ftabel : Nilai Presentase distribusi F

3. Nilai Rata-Rata Waktu Kerusakan (Mean Time To Failure)

Menurut Pardiyono & Indrayani [6] dalam menentukan distribusi yang akan digunakan untuk menghitung MTTF harus dilakukan terlebih dahulu mencari nilai r untuk masing-masing distribusi sehingga didapatkan nilai r terbesar yang kemudian akan diuji lagi menurut hipotesa distribusinya.

Perhitungan nilai MTTF untuk setiap distribusi adalah :

a. Distribusi Weibull

$$\square\square\square\square = \square.\square \left[I + \frac{1}{\beta} \right]$$

Dimana :

 θ = scale parameter yang mempengaruhi nilai tengah dari pola data β = shape parameter yang mempengaruhi laju kerusakanNilai $\Gamma \left[I + \frac{1}{\beta} \right]$ didapat dari tabel fungsi Gamma

b. Distribusi Eksponensial

$$\square\square\square\square = \frac{1}{\lambda}$$

Dimana :

 λ = rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi

c. Distribusi Normal

$$\square\square\square\square = \square$$

Dimana : μ = nilai tengah

d. Distribusi Lognormal

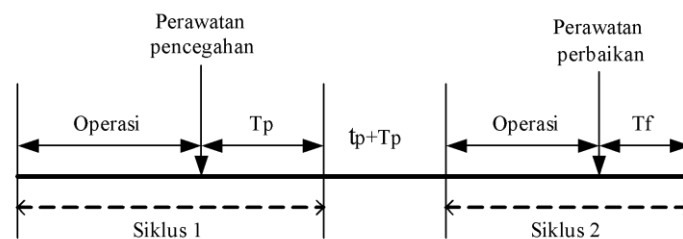
$$\square\square\square\square = t_{med}.e^{\frac{s^2}{2}}$$

Dimana : t_{med} = parameter lokasi (nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan)

s = parameter bentuk (*shape* parameter)

4. Model Kebijakan Perawatan (*Age Replacement*)

Menurut Jardin [7] Prinsip dalam model *Age Replacement* adalah dilakukan penggantian pencegahan berdasarkan pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan dan jika terjadi kerusakan yang menuntut untuk dilakukannya tindakan penggantian. Berikut adalah gamabaran mengenai siklus dari model *age replacement* dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Siklus model *Age Replacement*

T_p = waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian pencegahan

T_f = Waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian kerusakan

t_p = Interval waktu perawatan pencegahan.

$$D(t_p) = \frac{\text{Total Ekspetasi downtime per siklus}}{\text{Ekspetasi Panjang Siklus}}$$

$$D(t_p) = \frac{T_p \cdot R(t_p) + T_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + [M(t_p) + T_f [1 - R(t_p)]]}$$

Dimana :

T_p = waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian pencegahan

T_f = Waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian kerusakan

t_p = Interval waktu perawatan pencegahan

$F(t)$ = Fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi

$R(t_p)$ = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat t_p

$M(t_p)$ = Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan pada t_p

$D(t_p)$ = Peluang waktu penggantian pencegahan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Identifikasi Distribusi Kerusakan (*Index Of Fit Test*)

Identifikasi distribusi kerusakan digunakan untuk menentukan pola distribusi yang terbentuk dari suatu data berdasarkan data waktu antar kerusakan. Dilakukan dengan perhitungan *Index of Fit* dengan mencari nilai (r) terbesar sehingga dipilih dan dianggap paling sesuai dengan pola distribusi tertentu berdasarkan waktu antar kerusakan. Pada tahap identifikasi distribusi, jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Ekspensial, Normal, dan Log Normal dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*.

Pola distribusi yang terbentuk dari hasil perhitungan *index of fit* pada subsistem adalah distribusi *Weibull* karena memiliki nilai i terbesar. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi dari perhitungan *index of fit* untuk setiap subsistem terpilih mesin *Cincinnati Milacron Double Gantry All.F* dapat dilihat tabel II sebagai berikut :

TABEL II
HASIL REKAPITULASI DISTRIBUSI TERPILIH

Subsistem	Ekspensial	Weibull	Normal	Log Normal	Distribusi Terpilih
Axis	0.9602	0.9898	0.9805	0.9813	Weibull
Spindle Unit	0.8980	0.9891	0.9833	0.9729	Weibull
Lube & Coolant	0.9600	0.9815	0.9649	0.9683	Weibull

Dari hasil pengujian *index of fit* untuk setiap subsistem kritis yang diuji, maka dapat disimpulkan distribusi yang terpilih adalah distribusi *Weibull* dan dilihat dari nilai *index of fit* terbesar.

2. Goodnest Of Fit Test dan Uji Mann's Test

Setelah mengetahui pola distribusi yang terbentuk dari hasil pengujian *index of fit* dan didapatkan hasil hipotesis bahwa distribusi yang terbentuk adalah distribusi *Weibull*. Cara mengetahui hipotesis tersebut benar atau tidak dengan uji kesesuaian distribusi dengan menggunakan uji *Mann's Test*.

Formula Hipotesis

H_0 : Data waktu antar kerusakan subsistem berdistribusi *Weibull*

H_1 : Data waktu antar kerusakan subsistem tidak berdistribusi *Weibull*

Tingkat Kepercayaan (α) = 0.05

Kesimpulan : Hasil uji *mann test*, data waktu antar kerusakan (TTF) untuk semua subistem menunjukkan bahwa $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yaitu data waktu antar kerusakan subsistem berdistribusi *Weibull*. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai parameter adalah sebagai berikut:

TABEL III
REKAPITULASI PERHITUNGAN UJI MANN TEST

Subsistem Kritis	Distribusi	Uji Distribusi	Fhitung	Ftabel	Hasil
Axis	Weibull	Mann Test	0.90	$F = 0.05, 14, 13 = 2.58$	Ho Diterima
Spindle Unit	Weibull	Mann Test	1.62	$F = 0.05, 9, 8 = 3.44$	Ho Diterima
Lube & Coolant	Weibull	Mann Test	1.68	$F = 0.05, 10, 10 = 3.14$	Ho Diterima

3. Penentuan Estimasi Parameter

Penentuan nilai parameter berdasarkan distribusi kerusakan terpilih (*Weibull*) terdiri atas α dan β kedua parameter tersebut dicari nilainya dan berguna untuk menentukan waktu pengantiannya. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai parameter adalah sebagai berikut:

TABEL IV
REKAPITULASI HASIL PERHITUNGAN NILAI PARAMETER SUBSISTEM KRITIS

Subsistem	Distribusi Terpilih	α	β
Axis	Weibull	1569.407	1.967
Spindle Unit	Weibull	2520.806	5.994
Lube & Coolant	Weibull	2264.496	1.023

4. Perhitungan Nilai MTTF (Mean Time To Failure)

Setelah pola distribusi terbentuk dan didapat nilai parameternya, dilakukan perhitungan nilai MTTF pada masing-masing subsistem kritis. Perhitungan nilai MTTF ini dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata kerusakan dari setiap subsistem. Berikut perhitungan nilai MTTF data berdistribusi *Weibull* untuk setiap subsistem :

a. Subsistem Axis

Waktu rata-rata kerusakan distribusi *Weibull* untuk subsistem Axis di hitung dengan rumus sebagai berikut :

$$MTTF = \alpha \cdot \tau \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$MTTF = 1569.407 \cdot \tau \cdot \left(1 + \frac{1}{1.967}\right)$$

$$= 1391 \text{ Jam} \approx 87 \text{ Hari}$$

Dari perhitungan MTTF diatas Maka diperoleh hasil waktu rata-rata kerusakan subsistem *Axis* adalah 87 hari

b. Subsistem Spindle Unit

Waktu rata-rata kerusakan distribusi Weibull untuk subsistem *Spindle Unit* di hitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= 2520.806 \cdot \tau \cdot \left(1 + \frac{1}{5.994}\right) \\ &= 2338 \text{ Jam} \approx 146 \text{ Hari} \end{aligned}$$

Dari perhitungan MTTF diatas maka diperoleh hasil waktu rata-rata kerusakan subsistem *Spindle Unit* adalah 146 hari

c. Subsistem Lube & Coolant

Waktu rata-rata kerusakan distribusi Weibull untuk subsistem *Spindle Unit* di hitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= 2264.496 \cdot \tau \cdot \left(1 + \frac{1}{1.023}\right) \\ &= 2243 \text{ Jam} \approx 140 \text{ Hari} \end{aligned}$$

Dari perhitungan MTTF diatas Maka diperoleh hasil waktu rata-rata kerusakan subsistem *Lube & Coolant* adalah 140 hari.

TABEL V
REKAPITULASI PERHITUNGAN MTTF

N o	Subsistem	MTTF (Jam)	MTTF (Hari)
1	<i>Axis</i>	1391	87
2	<i>Spindle Unit</i>	2338	146
3	<i>Lube & Coolant</i>	2243	140

5. Penentuan Jadwal Penggantian Subsistem Kritis (Age Replacement)

Dalam menentukan kebijakan *age replacement* dilakukan perhitungan dengan mengikuti formula untuk mencari *downtime* minimum ($D(tp)$) yang dirumuskan oleh Jardine [1973] dapat dilihat sebagai berikut :

$$D(tp) = \frac{TpR(tp) + Tf[1 - R(tp)]}{(tp + Tp)R(tp) + (M(tp) + Tf)(1 - Rtp)}$$

Keterangan :

tp = Interval waktu penggantian pencegahan.

Tf = waktu yang dibutuhkan untuk penggantian kerusakan.

TP = waktu yang dibutuhkan untuk penggantian pencegahan.

$F(tp)$ = fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi.

$R(tp)$ = Keandalan (Reliability).

$M(tp)$ = waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan pada tp .

$D(tp)$ = *Downtime* / unit waktu jika penggantian dilakukan pada interval tp .

Perhitungan untuk subsistem *Axis* sebagai berikut.

TABEL VI
PENENTUAN INTERVAL PENGGANTIAN SUBSISTEM AXIS

tp (Jam)	Tp	Tf	α	β	$F(tp)$	$R(tp)$	$M(tp)$	$1 - R(tp)$	$D(tp)$
1024	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3506286	0.6493714	0.4317505	0.3506286	0.0374231
1025	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3511672	0.6488328	0.4325803	0.3511672	0.0374225
1026	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3517059	0.6482941	0.4334108	0.3517059	0.037422
1027	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3522446	0.6477554	0.4342422	0.3522446	0.0374215
1028	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3527834	0.6472166	0.4350743	0.3527834	0.0374211

1029	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3533223	0.6466777	0.4359072	0.3533223	0.0374207
1030	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3538612	0.6461388	0.4367409	0.3538612	0.0374204
1031	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3544001	0.6455999	0.4375754	0.3544001	0.0374202
1032	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3549392	0.6450608	0.4384106	0.3549392	0.03742
1033	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3554782	0.6445218	0.4392467	0.3554782	0.0374199
1034	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3560174	0.6439826	0.4400835	0.3560174	0.0374198
1035	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3565565	0.6434435	0.4409211	0.3565565	0.0374198
1036	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3570958	0.6429042	0.4417595	0.3570958	0.0374199
1037	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.357635	0.642365	0.4425987	0.357635	0.0374201
1038	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3581744	0.6418256	0.4434386	0.3581744	0.0374203
1039	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3587138	0.6412862	0.4442794	0.3587138	0.0374205
1040	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3592532	0.6407468	0.4451209	0.3592532	0.0374208
1041	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3597927	0.6402073	0.4459632	0.3597927	0.0374212
1042	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3603322	0.6396678	0.4468063	0.3603322	0.0374216
1043	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3608718	0.6391282	0.4476502	0.3608718	0.0374222
1044	23.67	29.92	$\frac{1569.407}{2}$	1.96708	0.3614114	0.6385886	0.4484948	0.3614114	0.0374227

Diketahui : $a = 1569.4072$ $\beta = 1.96708$

Perhitungan:

$$1. F(1034) = \frac{1}{a\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^t e^{\left[-\frac{(t-\beta)^2}{2a^2}\right]} dt$$

$$= 0.3560174$$

$$2. R(1034) = 1 - F(t_p)$$

$$= 0.6439826$$

$$3. I-R(1034) = 1 - 0.620952$$

$$= 0.3560174$$

$$4. M(1034) = \left(\frac{tp}{a}\right)^\beta$$

$$= \left(\frac{1034}{1569.4072}\right)^{1.96708}$$

$$= 0.4400835$$

$$5. D(tp) = \frac{(Tp \times R(tp)) + (Tf \times (1 - R(tp)))}{((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times (1 - R(tp)))}$$

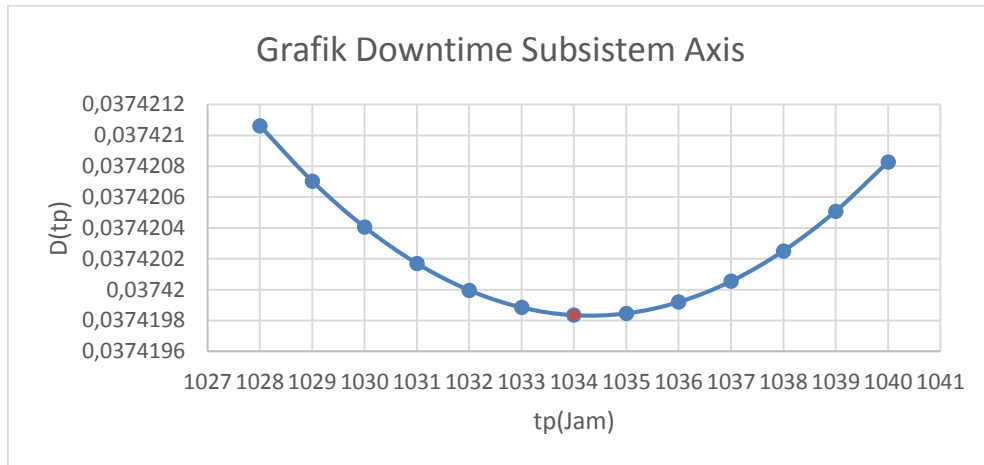
$$D(1034) = \frac{(23.67 \times 0.6439826) + (29.92 \times 0.3560174)}{((1034 + 23.67) \times 0.6439826) + ((0.4400835 + 29.92) \times 0.3560174)}$$

$$= 0.0374198$$

Maximum Availability Subsystem Axis

$A(tp) = 1 - D(tp)_{min}$

$$= 1 - (0.0374198) \times 100\% = 0.9625802 = 96.26\%$$



Gambar 2. Grafik Downtime Subsistem Axis

Perhitungan model *Age Replacement* untuk subsistem lainya *Spindle Unit* dan *Lube & Coolant* mengikuti langkah diatas. Rekapitulasi dari perhitungan *Age Replacement* untuk setiap subsistem adalah sebagai berikut:

TABEL VII
REKAPITULASI AGE REPLACEMENT MESIN CINCINNATI MILACRON ALL.F

Nama Subsistem	α_i	β_i	$T(pi)$	$T(fi)$	Ti^* (Jam)	Ti^* (Hari)	$A(tp)$
Axis	1569.4072	1.9670818	23.67	29.92	1034	65	96.26 %
Spindle Unit	2520.8059	5.9941011	13.17	25.08	1701	106	99.09 %
Lube & Coolant	2264.4961	1.0231888	12.17	26.08	1655	103	97.64 %

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan mengenai penjadwalan pemeriksaan dan penggantian pada subsistem kritis sebagai berikut:

1. Subsistem Axis, *Mean Time To Failure* 1391 jam atau 87 hari, Interval penggantian 1034 jam atau 65 hari sekali dengan total downtime 179 jam/tahun
2. Subsistem *Spindle Unit*, *Mean Time To Failure* 2338 jam atau 146 hari, Interval penggantian 1701 jam atau 106 hari sekali dengan total downtime 43 jam/tahun
3. Subsistem Lube & Coolant, *Mean Time To Failure* 2243 jam atau 140 hari, Interval penggantian 1655 jam atau 103 hari sekali dengan total downtime 113 jam/tahun

REFERENSI

- [1] Pardiyo, R. (2020). PREVENTIVE MAINTENANCE MENGGUNAKAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PT. AGRONESIA INKABA. *MULTITEK INDONESIA*, 14(1), 41-50.
- [2] Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, maintenance, and reliability for engineers*. CRC press.
- [3] Ebeling, C. E. (2004). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Tata McGraw-Hill Education.
- [4] Pardiyo, R., & Hartanto, T. (2019). USULAN PREVENTIVE MAINTENANCE KOMPONEN KRITIS PADA MESIN HIGH PREASURE PUMP DI PT. DIAN SWASETIKA SENTOSA DENGAN METODE GROUP REPLACEMENT. *INFOMATEK: Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, 21(2), 117-126.
- [5] Pardiyo, R., & Suryani, P. (2020). MENINGKATKAN KEANDALAN KOMPONEN MESIN DAN MINIMASI DOWNTIME PADA MESIN PICANOL GTX SERI 22844.
- [6] Pardiyo, R., & Indrayani, R. (2020, March). Product Quality Control with Six Sigma and Preventive Maintenance. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1477, p. 052046).
- [7] Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications*. CRC press.