

Usulan Waktu Penggantian Pahat Optimal di Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* Berdasarkan Metode *Six Sigma* untuk Meminimasi Cacat Produk *Eye End CH1899-0009* (Studi Kasus di PT. Pudak Scientific)

Rida Norina¹ Billy Fernando Silangit²,

^{1,2} Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jenderal Gatot Subroto, PO. BOX 807 Bandung 40285, Indonesia
rida.reza.raffa@gmail.com, billyjameslampard@yahoo.com

Abstrak

PT. Pudak Scientific merupakan perusahaan yang bergerak pada bidang pengerjaan komponen berbahan baja. Penelitian dilakukan pada proses produksi pembuatan *spare part* pesawat terbang (*aeronautical parts*). Terdapat peningkatan produk yang ditolak di bulan Januari 2016, sehingga perusahaan tidak mampu mengejar target produksi. Dari 4.416 unit yang dikerjakan terdapat 43 unit cacat. Produk tertinggi yang ditolak adalah *Eye End CH1899-0009* yaitu sebanyak 9 unit yang menimbulkan kerugian senilai Rp 2.385.000. Untuk memecahkan permasalahan sistem pengendalian kualitas tersebut digunakan pendekatan *Six Sigma*. Hasil analisis menunjukkan bahwa yang menyebabkan cacat tidak simetris pada produk adalah proses pemakanan tidak optimal pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*. Hal ini dikarenakan tidak memperhatikan umur pemakaian pahat hasil Matriks USG (*Urgency, Seriousness, & Growth*). Tujuan penelitian ini adalah menentukan waktu penggantian pahat optimal di Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* sehingga biaya perawatan menjadi minimum. Hasil perhitungan waktu penggantian pahat optimal untuk pahat *Center Drill ø 3* adalah 55 jam dengan biaya Rp 23.829 untuk pahat *Drill CBD ø 6* adalah 130 jam dengan biaya Rp 12.765 untuk pahat *End Mill Carbide ø 6 S2* adalah 68 jam dengan biaya Rp 22.918 dan untuk pahat *End Mill CBD ø 6 S4* adalah 68 jam dengan biaya Rp 22.535.

Kata kunci: *Quality, preventive maintenance, six sigma, age replacement*, biaya kualitas.

1. Pendahuluan

Penelitian dilakukan di *Quality Department* PT. Pudak Scientific yang memproduksi *spare part* pesawat terbang (*aeronautical parts*) karena terdapat peningkatan produk *reject* pada periode Januari 2016. Dari 4.416 unit yang dikerjakan, terdapat 43 unit yang mengalami *reject*, produk tertinggi yang ditolak adalah *Eye End CH1899-0009* sejumlah 9 unit. Hal tersebut menimbulkan kerugian senilai Rp 2.385.000,00. Jenis kecacatan produk *Eye End CH1899-0009* adalah cacat tidak simetris. Dari hasil observasi dan wawancara dengan bagian produksi, cacat tersebut terjadi pada proses *machining* di mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*.

Dari pengolahan data peta kendali didapat hasil pengukuran berada di luar batas kontrol. Hal yang menyebabkan hasil pengukuran tersebut berada di luar batas kontrol adalah banyaknya variasi data pengukuran karena tidak konsistennya operator dalam mengukur. Variasi data yang diobservasi dapat berasal dari variasi alat ukur (σ^2_{gage}) dan variasi produk yang dihasilkan ($\sigma^2_{product}$). Maka dari itu perlu dilakukan analisis terhadap kedua variasi tersebut dengan menggunakan Metode MSA (*Measurement System Analysis*). Diperoleh data dari 14 spesifikasi, ternyata semua spesifikasi menunjukkan nilai $\sigma^2_{product}$ lebih dominan dibandingkan dengan nilai σ^2_{gage} sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi data pengukuran tersebut berasal dari variasi produk yang dihasilkan.

Analisis penyebab masalah variasi produk dengan tools *Cause & Effect Diagram* disimpulkan bahwa yang menyebabkan terjadinya cacat tidak simetris pada produk *Eye End CH1899-0009* adalah proses pemakanan tidak optimal pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* dikarenakan proses saat ini tidak memperhatikan umur pemakaian pahat yang didapat dari hasil Matriks USG (*Urgency, Seriousness, & Growth*). Penelitian ini menentukan waktu penggantian pahat optimal di Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* sehingga dapat meminimumkan biaya perawatan.

Tujuan penelitian ini adalah perbaikan penentuan interval jadwal penggantian pahat dengan memperhatikan pahat pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* saat memproduksi produk *Eye End* sehingga dapat biaya perawatan minimum.

2. Metode

Metode penelitian ini melakukan pendekatan metode *six sigma*, yang secara umum ada empat tahapan besar, yaitu *Define – Measure – Analysis – Improvement – Control*. Secara detail tahapan proses penelitian ini digambarkan pada gambar 1.

Menurut Jardine (1980) menyatakan bahwa Perawatan merupakan suatu mekanisme kegiatan untuk menjaga fasilitas produksi yang digunakan dalam kondisi yang baik untuk menghasilkan suatu produk sehingga produk yang dihasilkan optimum. Perawatan berkaitan erat dengan dua hal utama yaitu

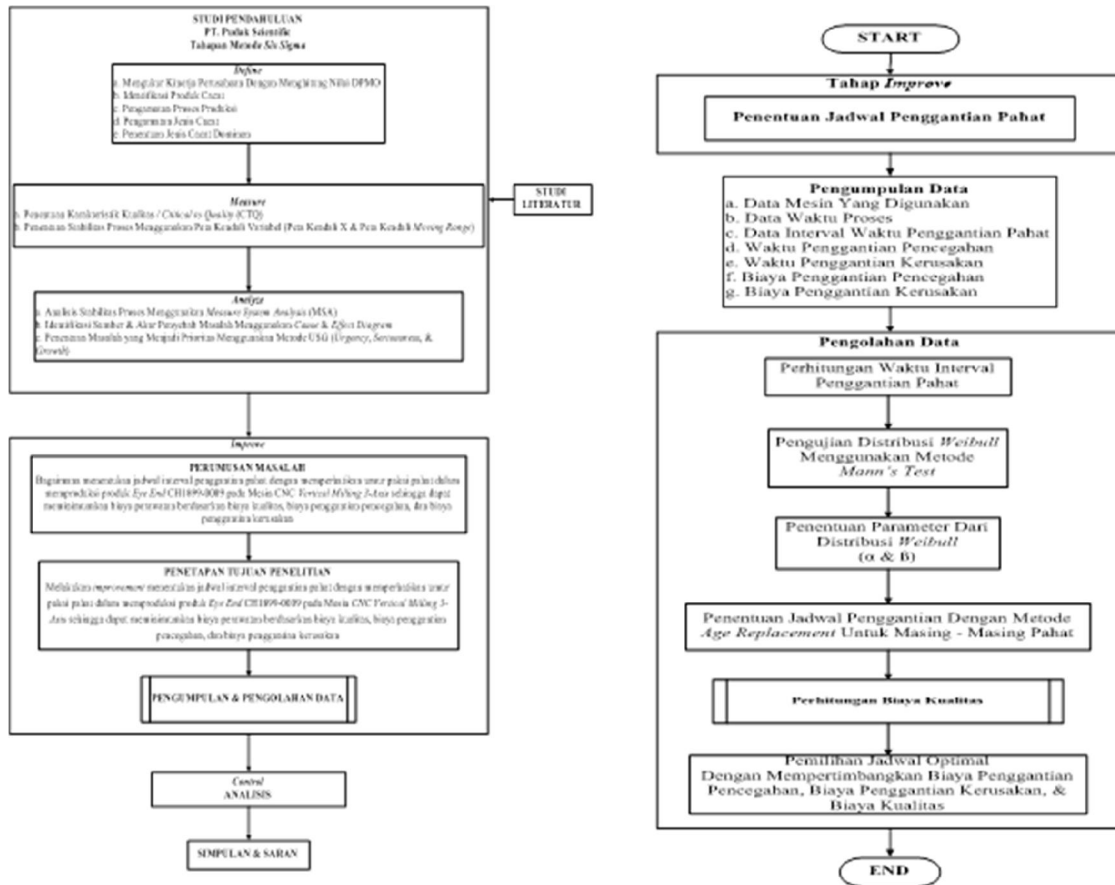
Info Makalah:

Dikirim : 04-28-2017;
Revisi 1 : 01-30-2018;
Diterima : 02-01-2018.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-8782-1264-458
e-mail : rida.reza.raffa@gmail.com

kegiatan tindakan pencegahan kerusakan (*preventive maintenance*) dan tindakan perbaikan kerusakan (*corrective maintenance*). Dalam dua hal tersebut terdiri dari beberapa kegiatan seperti *inspection* (pemeriksaan), *repair* (perbaikan ringan), *replacement* (penggantian komponen), dan *overhaul* (perbaikan menyeluruh).



Gambar 12. Skema Penelitian

Fungsi keandalan didefinisikan sebagai fungsi probabilitas suatu mesin yang beroperasi dalam kondisi baik tanpa ada kerusakan pada satu periode waktu t dalam kondisi operasi standar. Secara statistik fungsi keandalan atau $R(t)$ didefinisikan sebagai probabilitas dari komponen masih tetap berfungsi pada spesifikasi yang telah ditentukan pada saat t , secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad (1)$$

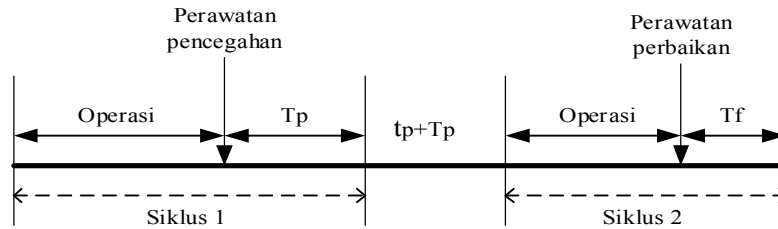
Laju kerusakan suatu mesin atau komponen pada saat t berasal dari besarnya nilai probabilitas bahwa jika mesin atau komponen tersebut akan rusak pada interval waktu berikutnya. Sedangkan pada saat t mesin atau komponen tersebut masih tidak dalam keadaan atau masih dalam keadaan baik. Secara matematis fungsi laju kerusakan dapat diuraikan sebagai berikut :

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

Apabila $r(t)$ meningkat sesuai dengan waktu, maka fungsi laju kerusakan meningkat (*increasing failure rate*) dan sebaliknya, jika $r(t)$ menurun terhadap waktu maka disebut sebagai laju kerusakan menurun (*decreasing failure rate*).

Model *age replacement* yaitu rentang waktu penggantian mesin atau komponen dengan memperhatikan umur pemakaian tersebut, sehingga komponen yang baru dipasang terhindar dari proses penggantian, apabila kerusakan terjadi maka model ini dapat menyesuaikan jadwal penggantian komponen, baik karena kerusakan atau hanya sebagai perawatan pencegahan. Model ini mempunyai dua siklus penggantian pencegahan, yaitu siklus pencegahan dilakukan bila umur komponen telah mencapai umur penggantian sesuai dengan rencana. Sedangkan siklus kerusakan terjadi

bila ada komponen yang rusak sebelum tiba waktu penggantian yang telah ditetapkan. Kedua siklus dari model *age replacement* tersebut dapat terlihat jelas pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Model Age Replacement

Model *age replacement* memiliki formulasi sebagai berikut :

$$C(t_p) = \frac{C_p \times R t_p + C_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f][1 - R(t_p)]} \quad (3)$$

Keterangan :

- t_p = interval waktu penggantian pencegahan.
- T_f = waktu yang dibutuhkan untuk penggantian kerusakan.
- T_p = waktu yang dibutuhkan untuk penggantian pencegahan.
- $F_{(t_p)}$ = 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 .
- $C_{(t_p)}$ = ongkos untuk melakukan perawatan.

Menurut Montgomery (2012), biaya kualitas adalah seluruh biaya yang timbul dari produk berkualitas buruk serta mengklasifikasikan biaya kualitas menjadi 4 kategori dari biaya pencegahan (*Preventive Cost*), biaya penilaian (*Appraisal Cost*), biaya kegagalan Internal (*Internal Failure Cost*), dan biaya kegagalan eksternal (*External Failures Cost*).

3. Hasil dan Pembahasan

Pergerakan meja mesin dan spindle (sumbu X,Y Z) pada mesin *CNC Milling* dikendalikan oleh suatu program NC (*Numerically Controlled*). Dengan demikian semua gerakan akan dikendalikan secara otomatis sesuai perintah program yang telah didefinisikan sebelumnya.

Empat pahat yang digunakan pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* adalah pahat *Center Drill* ϕ 3, pahat *Drill* CBD ϕ 6, pahat *End Mill Carbide* ϕ 6 S2, dan pahat *End Mill* CBD ϕ 6 S4. Tabel 1 menampilkan harga tiap pahat.

Tabel 1. Harga Pahat Pada Mesin CNC Vertical Milling 3-Axis

No.	Jenis Pahat	Jumlah (Unit)	Harga Pahat
1	<i>Center Drill</i> ϕ 3	1	Rp 83.000
2	<i>Drill</i> CBD ϕ 6	1	Rp 115.000
3	<i>End Mill Carbide</i> ϕ 6 S2	1	Rp 250.000
4	<i>End Mill</i> CBD ϕ 6 S4	1	Rp 225.000

Data waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian kerusakan pahat (T_f) dan data waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian pencegahan kerusakan pahat (T_p) diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan yaitu $T_f=1,817$ jam dan $T_p=1,283$ jam. Sedangkan data waktu proses pengerjaan produk *Eye End* CH899-0009 pada *CNC Vertical Milling 3-Axis* tertera pada tabel 2.

Tabel 2. Waktu Proses Pengerjaan Produk *Eye End* CH1899-0009

No.	Jenis Pahat	Waktu (Menit)	Waktu (Jam)
1	<i>Center Drill</i> ϕ 3	1,2	0,02
2	<i>Drill</i> CBD ϕ 6	2,82	0,047
3	<i>End Mill Carbide</i> ϕ 6 S2	1,5	0,025
4	<i>End Mill</i> CBD ϕ 6 S4	1,5	0,025
Total		7,02	0,117

Tabel 3 sampai dengan tabel 6 menampilkan data interval waktu penggantian pahat pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

Tabel 3. Rincian Penggantian Pahat *Center Drill* ϕ 3

No.	Tanggal Penggantian	Jumlah Produk (Unit)	Interval Waktu Penggantian (Jam)
1	03-Jan-16	3175	63,50
2	22-Jan-16	2875	57,50
3	09-Feb-16	2983	59,66
4	27-Feb-16	2953	59,06
5	15-Apr-16	2953	59,06
6	10-Mei-16	3049	60,98
7	26-Mei-16	3067	61,34
8	18-Jun-16	3049	60,98
9	04-Jul-16	2989	59,78
10	22-Jul-16	3115	62,30

Tabel 4. Rincian Penggantian Pahat *Drill CBD* ϕ 6

No.	Tanggal Penggantian	Jumlah Produk (Unit)	Interval Waktu Penggantian (Jam)
1	02-Jan-16	3082	144,85
2	10-Feb-16	3010	141,47
3	11-Feb-16	3060	143,82
4	09-Mar-16	2970	139,59
5	08-Apr-16	2992	140,62
6	04-Mei-16	2893	135,97
7	06-Jun-16	3019	141,89
8	08-Jun-16	3082	144,85
9	18-Jul-16	2961	139,17
10	24-Jul-16	2956	138,93

Tabel 5. Rincian Penggantian Pahat *End Mill Carbide* ϕ 6 S2

No.	Tanggal Penggantian	Jumlah Produk (Unit)	Interval Waktu Penggantian (Jam)
1	03-Jan-16	3036	75,90
2	21-Jan-16	2965	74,13
3	09-Feb-16	3010	75,25
4	24-Feb-16	3029	75,73
5	16-Mar-16	3036	75,90
6	10-Apr-16	2888	72,20
7	07-Mei-16	3042	76,05
8	09-Jun-16	3053	76,33
9	26-Jun-16	2997	74,93
10	15-Jul-16	2791	69,78

Tabel 6. Rincian Penggantian Pahat *End Mill* CBD ϕ 6 S4

No.	Tanggal Penggantian	Jumlah Produk (Unit)	Interval Waktu Penggantian (Jam)
1	05-Jan-16	2941	73,53
2	24-Jan-16	2983	74,58
3	12-Feb-16	2803	70,08
4	27-Feb-16	3001	75,03
5	19-Mar-16	2983	74,58
6	13-Apr-16	2983	74,58
7	10-Mei-16	3013	75,33
8	12-Jun-16	3008	75,20
9	29-Jun-16	3061	76,53
10	18-Jul-16	3061	76,53

Rincian biaya perawatan terdiri dari komponen biaya perawatan penggantian pencegahan (C_p), perawatan penggantian kerusakan (C_r), dan *cost of poor quality* (COPQ) pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* tertera pada tabel 7.

Tabel 7. Rincian Biaya Perawatan Masing – Masing Pahat Pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

No.	Jenis Pahat	Rincian Biaya Perawatan		
		Biaya Penggantian Pencegahan (C_p)	Biaya Penggantian Kerusakan (C_r)	Biaya <i>Cost of Poor Quality</i> (COPQ)
1	<i>Center Drill ϕ 3</i>	Rp 1.298.424	Rp 1.803.535	Rp 4.386
2	<i>Drill CBD ϕ 6</i>	Rp 1.330.424	Rp 1.835.535	Rp 5.178
3	<i>End Mill Carbide ϕ 6 S2</i>	Rp 1.465.424	Rp 1.970.535	Rp 4.533
4	<i>End Mill CBD ϕ 6 S4</i>	Rp 1.440.424	Rp 1.945.535	Rp 4.533

Distribusi kerusakan yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi *Weibull*. Pengujian uji *Mann's Test* menguji apakah kerusakan masing – masing pahat mengikuti distribusi *Weibull* atau tidak. Uji *Mann's Test* terdiri dari dua hipotesis yaitu hipotesis H_0 yang menyatakan bahwa kerusakan komponen mengikuti Distribusi *Weibull* dan hipotesis H_1 yang menyatakan kerusakan komponen bukan distribusi *Weibull*. Tabel 8 menampilkan hasil perhitungan uji *Mann's test* untuk tiap jenis pahat pada mesin *CNC Vertical Milling 3 - Axis*

Tabel 8. Hasil Perhitungan Uji *Mann's Test* Masing – Masing Pahat Pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

No.	Jenis Pahat	Hasil Perhitungan Uji <i>Mann's Test</i>	
		S_{hitung}	S_{tabel}
1	<i>Center Drill ϕ 3</i>	0,487790	0,69
2	<i>Drill CBD ϕ 6</i>	0,530327	0,69
3	<i>End Mill Carbide ϕ 6 S2</i>	0,144494	0,69
4	<i>End Mill CBD ϕ 6 S4</i>	0,422429	0,69

Data hasil perhitungan pada tabel 8 menunjukkan bahwa S_{hitung} tiap jenis pahat adalah lebih kecil dari S_{tabel} kondisi demikian menunjukkan bahwa kerusakan keempat jenis pahat mengikuti pola distribusi *Weibull* dua parameter yaitu parameter skala (α) dan parameter bentuk (β).

Parameter α menggambarkan perkiraan umur pakai komponen dan parameter β menggambarkan bentuk dari distribusi. Nilai α diperoleh dari waktu rata - rata kerusakan dibagi dengan nilai dari hasil penjumlahan tabel gamma sedangkan β diperoleh dari nilai b yang merupakan hasil estimasi parameter distribusi, nilai ini akan memberikan informasi mengenai kondisi kerusakan dan nilai model distribusi statistik. Tabel 9 menampilkan hasil perhitungan parameter α dan β untuk tiap jenis pahat pada mesin *CNC Vertical Milling 3 Axis*. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 9 berikut :

Tabel 9. Hasil Perhitungan Nilai Parameter Tiap Jenis Pahat Pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

No.	Jenis Pahat	Hasil Perhitungan Nilai Parameter	
		A	B
1	<i>Center Drill ø 3</i>	61,426	37,284
2	<i>Drill CBD ø 6</i>	142,709	53,683
3	<i>End Mill Carbide ø 6 S2</i>	75,868	36,536
4	<i>End Mill CBD ø 6 S4</i>	75,439	41,485

Biaya kualitas pada penelitian ini dibatasi hanya biaya kegagalan internal, didefinisikan sebagai biaya ketidaksesuaian produk dengan standar yang ditemukan sebelum produk dilempar ke pasar. Model biaya kualitas pada penelitian ini dibatasi hanya untuk produk cacat yang diakibatkan oleh mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* dan perusahaan harus menanggung biaya kualitas produk cacat tersebut. Nilai biaya kualitas dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4)

$$COQ = COPQ \times d \quad (4)$$

Keterangan :

COQ : persamaan model biaya dari kualitas

COPQ : biaya *cost of poor quality* (COPQ) dari masing - masing pahat

Nilai *d* mencerminkan pola hubungan antara jumlah produk cacat yang dihasilkan dengan interval waktu penggantian pahat yang diperoleh dari persamaan regresi linier sederhana seperti pada persamaan 5. Tabel 10 menampilkan persamaan model biaya kulaitis tiap jenis pahat.

$$d = a + bx \quad (5)$$

Tabel 10 Hasil Persamaan Model Biaya Kualitas (COQ) Tiap Jenis Pahat Pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

No.	Jenis Pahat	Persamaan Model Untuk Biaya Kualitas (COQ)
1	<i>Center Drill ø 3</i>	$4.386 \times [-96,114 + 1,806x]$
2	<i>Drill CBD ø 6</i>	$5.178 \times [-73,404 + 1,0566x]$
3	<i>End Mill Carbide ø 6 S2</i>	$4.533 \times [-87,149 + 1,5593x]$
4	<i>End Mill CBD ø 6 S4</i>	$4.533 \times [-96,143 + 1,7191x]$

Pelaksanaan Uji signifikansi interval waktu penggantian pahat terhadap jumlah cacat produk yang dihasilkan untuk mengetahui apakah variabel independen (X) berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen (Y). Signifikan berarti pengaruh yang terjadi dapat berlaku untuk populasi (dapat digeneralisasikan). Dengan hipotesa sebagai berikut :

H₀: Ada pengaruh secara signifikan antara interval jam penggantian dengan jumlah cacat produk

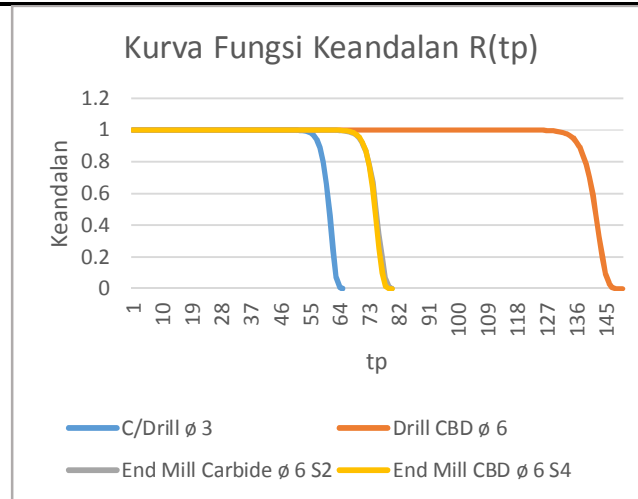
H₁: Tidak ada pengaruh secara signifikan antara interval jam penggantian dengan jumlah cacat produk

Tabel 11 menampilkan hasil perhitungan t_{hitung} dan t_{tabel} tiap jenis pahat pada mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

Tabel 11. Hasil Perhitungan Uji T Masing – Masing Pahat Pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis*

No.	Jenis Pahat	Hasil Perhitungan Uji T	
		t_{hitung}	t_{tabel}
1	<i>Center Drill ø 3</i>	21,070	2,364
2	<i>Drill CBD ø 6</i>	18,434	2,364
3	<i>End Mill Carbide ø 6 S2</i>	5,976	2,364
4	<i>End Mill CBD ø 6 S4</i>	7,147	2,364

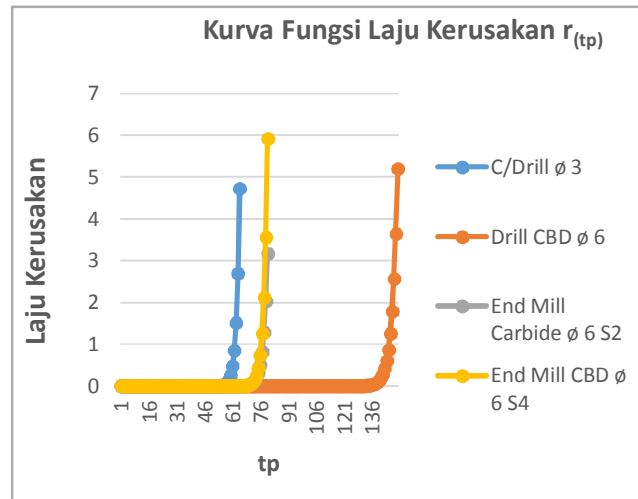
Hasil perhitungan menunjukkan nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ yang berarti H₀ diterima. dengan tingkat kepercayaan 5% (0,05). Dengan demikian terdapat pengaruh secara signifikan antara variabel interval waktu penggantian pahat dengan jumlah cacat produk yang dihasilkan.



Gambar 4. Grafik Fungsi Keandalan ($R(t)$)

Fungsi keandalan tiap jenis pahat semakin menurun seiring dengan pertambahan waktu penggunaan (t) terutama pada kondisi telah mencapai batas umur pemakaian sehingga pahat mengalami keausan. Penurunan keandalan berdampak pada kualitas produk yang dihasilkan diantaranya adalah cacat produksi. Hal ini disebabkan pahat dalam Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* mengalami penurunan performa proses pemakanan terhadap produk *Eye End CH1899-0009* tidak optimal.

Fungsi Laju kerusakan tiap pahat semakin meningkat secara signifikan. Hal itu pahat mengalami aus karena pemakaian. Tindakan yang paling tepat pada komponen yang laju kerusakannya membesar adalah dengan melakukan tindakan penggantian pencegahan.



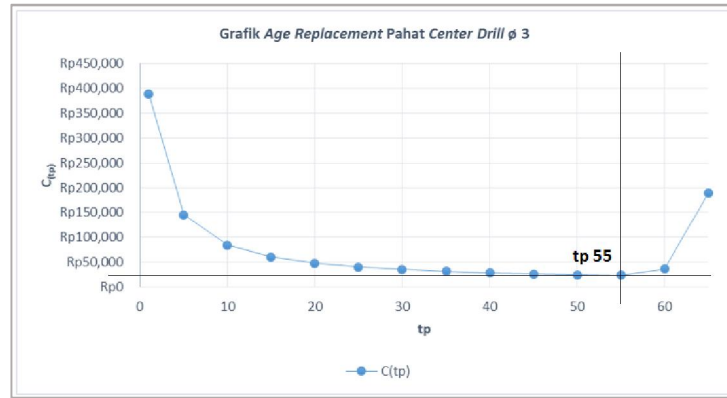
Gambar 5. Grafik Fungsi Laju Kerusakan ($r(t)$)

Laju kerusakan yang dialami oleh masing – masing pahat pada kurva di atas, semakin lama semakin meningkat secara signifikan. Peningkatan laju kerusakan yang cukup signifikan dari masing – masing pahat disebabkan aus akibat pemakaian. Tindakan yang paling tepat pada komponen yang laju kerusakannya membesar adalah dengan melakukan tindakan penggantian pencegahan.

Dalam penelitian ini penentuan jadwal penggantian pahat optimal menggunakan Metode *Age Replacement*. Namun model awal *Age Replacement* tersebut dikembangkan dengan mempertimbangkan biaya kualitas berdasarkan penggantian pahat tersebut. Berikut ini adalah rumus awal Metode *Age Replacement* :

$$C(t_p) = \frac{C_p.R(t_p) + C_f[1-R(t_p)]}{(t_p + T_p).R(t_p) + [M(t_p) + T_f][1-R(t_p)]} \quad (6)$$

Perhitungan Metode Age Replacement Pahat Center Drill ϕ 3



Gambar 6. Grafik Age Replacement Pahat Center Drill ϕ 3

Dari hasil perhitungan diperoleh interval penggantian optimal, di mana tp merupakan interval perawatan pencegahannya itu sebesar 55 jam dengan biaya total $C_{(tp)}$ terendah sebesar Rp 23.829. Berikut rekap hasil perhitungan Age Replacement tiap pahat pada MesinCNC Vertical Milling 3-Axis :

Tabel 12. Hasil Perhitungan Age Replacement Masing – Masing Pahat Pada Mesin CNC Vertical Milling 3-Axis

No.	Jenis Pahat	tp optimum (Jam)	$C_{(tp)}$
1	Center Drill ϕ 3	55	Rp 23.829
2	Drill CBD ϕ 6	130	Rp 12.765
3	End Mill Carbide ϕ 6 S2	68	Rp 22.918
4	End Mill CBD ϕ 6 S4	68	Rp 22.535

Rekapitulasi hasil perhitungan waktu penggantian pencegahan dan biaya penggantian pencegahan menggunakan Model Age Replacement & MTTF (Mean Time To Failure) dapat dilihat pada tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Rekap Hasil Perhitungan Waktu Penggantian Pahat & Biaya Penggantian Pahat Dengan Model Age Replacement & MTTF

No.	Jenis Pahat	Hasil MTTF (α)		Hasil Model Age Replacement		Persentase Penghematan
		tp (Jam)	$C_{(tp)}$	tp (Jam)	$C_{(tp)}$	
1	Center Drill ϕ 3	61,426	Rp 66.728	55	Rp 23.829	64,29%
2	Drill CBD ϕ 6	142,709	Rp 37.199	130	Rp 12.765	65,68%
3	End Mill Carbide ϕ 6 S2	75,868	Rp 63.081	68	Rp 22.918	63,67%
4	End Mill CBD ϕ 6 S4	75,439	Rp 62.944	68	Rp 22.535	64,20%

Hasil perbandingan waktu penggantian pencegahan dengan Model Age Replacement dan waktu penggantian pencegahan dengan MTTF didapat waktu penggantian pencegahan dengan Model Age Replacement lebih kecil dibandingkan dengan waktu penggantian pencegahan dengan MTTF dikarenakan biaya penggantian kerusakan jauh lebih besar dibandingkan dengan biaya penggantian pencegahan sehingga waktu penggantian pencegahan yang optimal menjadi lebih pendek.

Kendala perusahaan saat ini adalah penggantian pahat. Operator mengganti pahat jika telah ditemukan banyak produk cacat. Dalam penggantian pahat, operator akan mengecek apakah cacat disebabkan jig & fixture yang sudah bergeser atau karena pahat yang telah rusak. Apabila kecacatan ditimbulkan karena jig & fixture maka operator akan mensetting ulang jig & fixture, bila kecacatan karena pahat, operator akan mengganti pahat lama dengan pahat baru. Kondisi ini, mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian karena banyaknya produk yang cacat akibat tidak adanya jadwal penggantian pahat. Oleh karena itu, usulan perbaikan yang dilakukan adalah merancang program sistem counter life time of cutting tool (sistem menghitung umur pakai) pada mesin. Kelemahan dalam perancangan ini adalah ketika operator tetap menggunakan pahat yang telah melebihi batas umur pakai, sehingga dibutuhkan alat deteksi Signal

Tower Lamp. Mekanisme kerja *Signal Tower Lamp* adalah mengeluarkan bunyi dan cahaya secara otomatis ketika pemakaian pahat melebihi dari batas umur pakainya.

Kesimpulan

Perhitungan interval waktu penggantian berdasarkan interval waktu penggantian yang memberikan biaya terkecil. Biaya didasarkan biaya penggantian pencegahan, biaya penggantian kerusakan, dan biaya kualitas. Hasil perhitungan interval waktu penggantian optimal tiap pahat pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* menggunakan metode *Age Replacement* adalah pahat *Center Drill* ϕ 3 dengan *tp* optimum 55 jam biaya Rp 23.829, pahat *Drill CBD* ϕ 6 *tp* optimum 130 Jam biaya Rp 12.765, pahat *End Mill Carbide* ϕ 6 S2 *tp* optimum 68 Jam biaya Rp 22.918, dan Pahat *End Mill CBD* ϕ 6 S4 *tp* optimum 68 Jam biaya Rp 22.535. Penggunaan program sistem *counter life time of cutting tool* (sistem menghitung umur pakai) mempermudah operator untuk menentukan umur pahat. Mekanisme kerja *Signal Tower Lamp* dapat menjadi tanda bahwa pemakaian pahat melebihi dari batas umur pakainya, sehingga diharapkan tidak ada lagi produk cacat yang ditimbulkan dari batas penggunaan umur pahat. Rancangan SOP pada Mesin *CNC Vertical Milling 3-Axis* diharapkan dapat mengurangi kecacatan produk.

Daftar Pustaka

- Jardine, A.K.S. (1973). *Maintenance Replacement & Reliability*. London :Pitman Publishing.
Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control Seventh Edition, 7 th Edition*, Hoboken, Wiley, New York.