

Penjadwalan *Predictive Maintenance* dan Biaya Perawatan Mesin *Pellet* di PT Charoen Pokphand Indonesia - Sepanjang

Ivan Soesetyo¹, Liem Yenny Bendatu²

Abstract: In this thesis we elaborated the predictive maintenance for the critical parts of Pelletizer machines in PT. Charoen Pokphand Indonesia. We used the reliability tools, such as, availability, mean time to failure and mean time to repair for calculating the total minimum cost. As the result we can improve the availability of pelletizer 1, 3 and 4 as much as 1%, 1% and 3 % respectively. Additionally, the reliability of pelletizer 1 and 2 are improved to 20.55%, 19.71% respectively and the total cost is reduced from 12% to 90%.

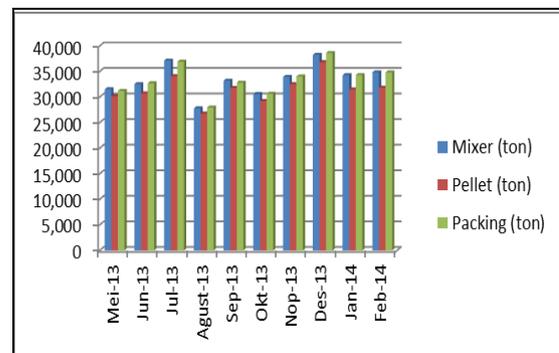
Keywords: Maintenance, Critical Part, Reliability, Availability, MTTF, MTTR, Total Minimum Cost

Pendahuluan

PT. Charoen Pokphand Indonesia merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam produksi pakan ternak. Divisi yang menangani proses produksi pakan ternak adalah divisi *feedmill/feed processing* yang memiliki tiga macam mesin utama yaitu *mixer*, *pellet*, dan *packing*. Sistem produksi yang berjalan bersifat *flowshop* karena memiliki urutan proses yang sama. Keseimbangan hasil produksi antar mesin *mixer*, *pellet*, dan *packing* harus terjaga agar mencapai target produksi, akan tetapi dalam pelaksanaannya sering timbul *bottleneck* pada mesin *pellet*. Hasil produksi dari mesin *pellet* sering kali lebih rendah dibandingkan mesin *mixer* dan *packing*, sehingga target produksi tidak dapat tercapai dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

Beberapa penyebab rendahnya hasil produksi pada suatu mesin *pellet* dapat disebabkan karena faktor lingkungan kerja, skill operator, ketersediaan (*availability*) dan keandalan (*reliability*). Ketersediaan dan keandalan yang masih kurang dapat menurunkan kinerja (*performance*) dari suatu mesin, yang dapat menyebabkan target produksi tidak terpenuhi. Pelaksanaan perbaikan mesin selama ini bersifat *breakdown maintenance* dan *corrective maintenance*. *Corrective dan breakdown maintenance* ini tidak dapat menunjukkan kapan terjadinya suatu mesin atau komponen akan rusak.

Kerugian yang timbul dari sistem *maintenance* ini diantaranya adalah biaya kehilangan produksi, biaya perbaikan yang lebih tinggi serta biaya lembur karena kehilangan produksi. Hal tersebut disebabkan karena nilai *availability* dan *reliability* yang belum diketahui dan belum adanya



Gambar 1. Perbandingan Hasil Produksi Mesin *Mixer*, *Pellet*, *Packing*.

jadwal perbaikan mesin berdasarkan analisa kegagalan mesin *pellet*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang penjadwalan *predictive maintenance* berdasarkan analisa *reliability*, *availability*, serta interval waktu perawatan optimal dari segi biaya dengan harapan dapat meningkatkan hasil produksi mesin *pellet*.

Metode Penelitian

Perawatan

Perawatan merupakan kegiatan pemeliharaan sesuai dengan ketentuan prosedur dengan melihat probabilitas suatu komponen atau sistem untuk mengalami kerusakan (Ebeling [1]). Perawatan secara umum terbagi menjadi dua antara lain *reactive maintenance* dan *proactive maintenance* (Ebeling [1]). *Reactive maintenance* terbagi kembali menjadi dua macam yaitu *corrective maintenance* dan *breakdown maintenance*. *Corrective maintenance* merupakan jenis perawatan yang dilaksanakan ketika kegiatan proses produksi memberikan hasil produksi yang tidak mencapai target. *Breakdown maintenance* merupakan perawatan untuk mengatasi kejadian *unplanned downtime* atau *downtime* yang tidak terjadwal, biasanya

^{1,2} Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Email: efun_92@yahoo.com, yenny@peter.petra.ac.id

disebabkan karena kerusakan mesin. Kerusakan mesin yang terjadi dapat disebabkan karena faktor internal (mesin atau komponen itu sendiri) atau faktor eksternal (operator, lingkungan kerja dan sebagainya). *Reactive maintenance* bersifat darurat karena tidak ada perencanaan dari awal. *Proactive maintenance* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*. *Predictive maintenance* merupakan perbaikan atau penggantian komponen yang dilakukan berdasarkan hasil estimasi waktu yang terdekat dengan terjadinya kerusakan mesin/komponen (Ebeling [1]). *Preventive maintenance* merupakan kegiatan perawatan sederhana seperti perbaikan, penggantian komponen, penyetelan mesin, pelumasan dan kegiatan *maintenance* lainnya, dilakukan ketika jadwal *downtime* yang sudah diukur sebelumnya dengan analisa laju kegagalan mesin (Ebeling [1]).

Notasi

t	interval waktu (hari)
$f(t)$	<i>probability density function</i>
$F(t)$	<i>cumulative distribution function</i>
$R(t)$	<i>reliability function</i>
$\lambda(t)$	<i>hazard rate function</i>
σ	standar deviasi
μ	<i>mean</i>
s	<i>scale parameter</i>
t_{med}	<i>median</i>
β	<i>shape parameter</i>
θ	<i>scale parameter</i>
MTTF	<i>mean time to failure</i>
MTTR	<i>mean time to repair</i>
A	biaya kehilangan produksi
B	biaya tenaga kerja
C	waktu perawatan preventif
D	harga komponen.
Tc	total biaya minimum
C_p	<i>preventive cost</i>
C_f	<i>failure cost</i>

Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem dapat memenuhi fungsi yang ditentukan dalam periode waktu tertentu dalam kondisi pengoperasian yang stabil (Ebeling [1]). Keandalan mesin bergantung pada periode waktu penggunaan, mesin yang digunakan terus menerus maka keandalannya akan terus menurun. Keandalan ini memiliki indikator utama dari keandalan suatu sistem yaitu fungsi probabilitas. *Probability Density Function* ($f(t)$) merupakan fungsi yang mendeskripsikan *shape* dari distribusi kegagalan. *Reliability Function* ($R(t)$) merupakan fungsi probabilitas suatu mesin atau komponen untuk tidak rusak dalam periode waktu tertentu (t). *Hazard Rate Function* ($\lambda(t)$), merupakan fungsi yang menunjukkan banyaknya kegagalan per satuan waktu (t). Setiap fungsi probabilitas dapat

menghitung keandalan dari suatu mesin atau komponen dari beberapa perspektif.

Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time to Failure merupakan nilai rata-rata interval antar kerusakan dari sebuah distribusi data kerusakan. MTTF bermanfaat untuk mengetahui kinerja dan kemampuan dari peralatan yang digunakan. Perhitungan MTTF memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTF juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada.

Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time to Repair merupakan nilai rata-rata waktu perbaikan kerusakan yang terjadi. Perhitungan MTTR memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTR juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada.

Distribusi

Identifikasi distribusi bertujuan untuk mengetahui distribusi dari data interval antar kerusakan dari mesin atau komponen dan lama waktu perbaikan kerusakan. Mesin atau komponen memiliki distribusi kerusakan yang berbeda-beda. Distribusi yang biasa digunakan untuk menentukan pola data kerusakan adalah *lognormal*, *normal*, *weibull* dan *exponential*. Pengujian *goodnes of fit test* dilakukan dengan menggunakan *software* MINITAB 14. Penentuan dilakukan dengan melihat nilai *Anderson-Darling* dan metode *Least Squares Estimation* yang menunjukkan nilai *Pearson Correlation Coefficient*.

Distribusi Normal

Distribusi ini biasa disebut kurva lonceng (*bell curve*) karena grafik fungsi kepadatan probabilitasnya (*Probability Density Function*) mirip dengan bentuk lonceng. Parameter pada distribusi normal yaitu μ dan σ . Fungsi probabilitas yang ada pada distribusi *normal* antara lain:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < t < \infty \quad (1)$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad (4)$$

$$MTTF = \mu \quad (5)$$

Distribusi Lognormal

Distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yaitu s (*scale parameter*) dan t_{med} (*median* dari data waktu kerusakan) yang juga menunjukkan *median* dari data. Fungsi yang terdapat dalam distribusi *lognormal* yaitu:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s^2}} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \quad t \geq 0 \quad (6)$$

$$F(t) = \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (7)$$

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (8)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (9)$$

$$MTTF = t_{med} \exp(s^2/2) \quad (10)$$

Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* mempunyai dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*). Fungsi yang terdapat dalam distribusi *weibull* yaitu:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0 \quad (11)$$

$$R(t) = e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (12)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (13)$$

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (14)$$

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/\theta)^\beta] \quad (15)$$

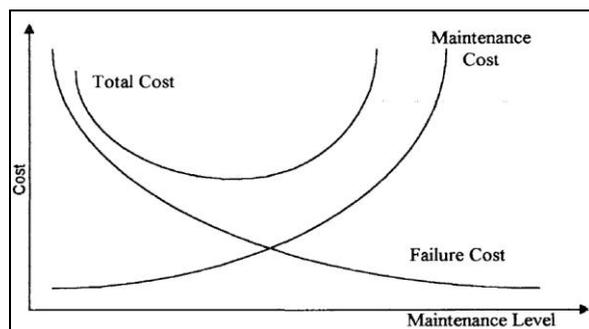
Ketersediaan (*Availability*)

Availability didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan pada waktu tertentu yang berada pada kondisi normal (Ebeling [1]). *Availability* juga diartikan sebagai jumlah waktu dikurangi dengan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan dan perbaikan. Tingkat ketersediaan atau *availability* dipengaruhi oleh nilai interval penggantian dan perbaikan. Rumus yang digunakan untuk menghitung *availability* adalah sebagai berikut:

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (16)$$

Biaya Perbaikan dan Penggantian

Sistem perawatan yang baik adalah perawatan yang dilakukan dalam jadwal waktu tertentu ketika proses produksi sedang tidak berjalan. Perawatan mesin yang sering dilakukan akan meningkatkan biaya perawatan, sebaliknya apabila perawatan tidak dilakukan maka dapat mengurangi kinerja mesin tersebut. Grafik pada Gambar 2 dapat menggambarkan hubungan antara biaya perawatan dengan *maintenance level* (Lyonnet [2]).



Gambar 2. Grafik Hubungan Biaya Perawatan dengan *Maintenance Level*

Maintenance level yang semakin tinggi maka *failure cost* yang akan ditanggung akan semakin kecil. *Maintenance level* yang semakin tinggi juga menyebabkan biaya perawatan yang dikeluarkan semakin besar sehingga total biaya meningkat juga. Biaya perawatan mesin pada komponen mesin terbagi menjadi dua macam yaitu biaya pencegahan (*preventive cost*) dan biaya kerusakan (*failure cost*). Kedua biaya tersebut kemudian digunakan untuk mencari *total cost minimum* (T_c). Tujuannya untuk memperoleh suatu pola *maintenance* yang optimal agar biaya *failure cost* dan *preventive cost* dapat seimbang, sehingga dapat menghasilkan *total cost minimum* atau total biaya minimum.

Preventive Cost (C_p)

Preventive cost merupakan biaya yang timbul karena adanya *preventive maintenance* yang sudah terjadwal. Rumus *preventive cost* adalah sebagai berikut:

$$C_p = (A + B) \times C + D \quad (17)$$

Failure Cost (C_f)

Failure cost merupakan biaya yang timbul karena kerusakan yang terjadi karena kerusakan diluar perkiraan (*breakdown*) yang menyebabkan terhentinya waktu produksi. Rumus *failure cost* adalah sebagai berikut:

$$C_f = (A + B) \times C + D \quad (18)$$

Total Biaya Minimum (T_c)

Total biaya minimum perbaikan dan penggantian per satuan waktu suatu mesin digunakan rumus sebagai berikut:

$$T_c = \frac{C_p \times R(t) + C_f \times (1 - R(t))}{T \cdot R(t) + \int_0^T t \cdot f(t) dt} \quad (19)$$

Hasil dan Pembahasan

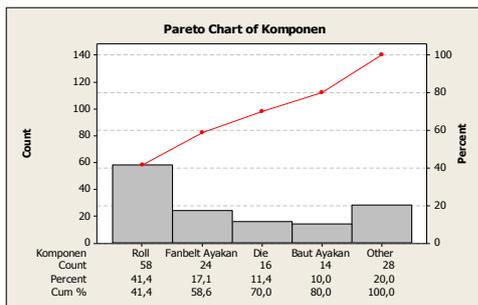
Pengolahan dan analisa data akan dilakukan untuk mendukung tujuan penelitian yaitu pembuatan jadwal *predictive maintenance* bagi mesin *pellet*. Hal yang akan dibahas pertama kali adalah dengan menentukan komponen kritis pada setiap mesin *pellet* sebagai komponen yang akan dibuat jadwal *predictive maintenance*-nya. Proses berikutnya adalah mengumpulkan data mengenai interval waktu kerusakan dan lama perbaikan penggantian baik pada mesin *pellet* maupun pada komponen kritis.

Data yang sudah diperoleh selanjutnya akan dihitung dan dianalisa mengenai MTTF, *availability* dan *reliability* dari mesin *pellet* dan komponen kritis. Hasil perhitungan dan analisa tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung total biaya minimum, dimana dari hasil perhitungan tersebut dapat menunjukkan interval waktu *predictive maintenance* yang paling optimal dari segi total biaya perawatan. Penjadwalan *predictive*

maintenance kemudian dapat ditentukan setelah mengetahui interval waktu tersebut dan selanjutnya akan dibuat suatu daftar tindakan teknis yang akan dilakukan. Hal lain yang akan dilakukan selanjutnya adalah membandingkan sistem perawatan sebelum dan sesudah *predictive maintenance* ini.

Komponen Kritis

Komponen kritis merupakan komponen yang paling sering mengalami kerusakan pada suatu mesin. Komponen kritis mesin *pellet* yang menjadi fokus dalam pembuatan *predictive maintenance* ditentukan melalui *Pareto chart*. Penentuan komponen kritis menggunakan *Pareto chart* karena dari seluruh kerusakan komponen akan menyebabkan mesin *pellet* berhenti. Mesin *pellet* tersebut akan dilakukan perbaikan maupun penggantian. Pembuatan *Pareto chart* dilakukan dengan cara mengumpulkan data mengenai *unplanned downtime* mengenai kerusakan komponen yang terjadi pada mesin *pellet* yang diperoleh dari *daily report* mesin *pellet*.



Gambar 3. Pareto Chart Komponen Kritis Pellet 1

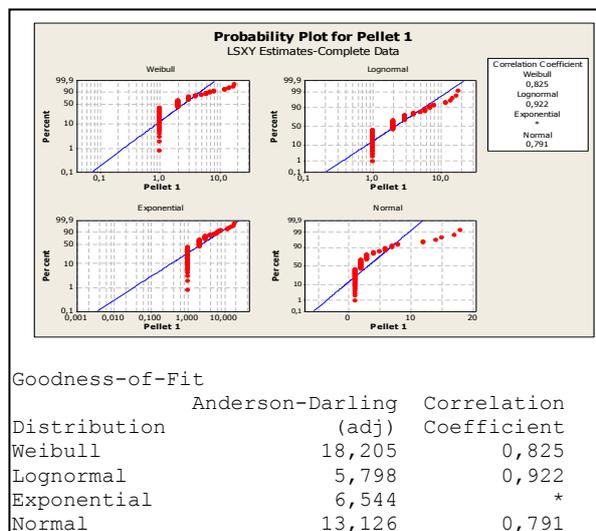
Hasil *Pareto chart* pada Gambar 3. dapat dilihat bahwa 80% kerusakan komponen yang terjadi pada mesin *pellet* 1 terjadi pada empat macam komponen. Keempat komponen kritis tersebut perlu diperbaiki terlebih dahulu dalam upaya meningkatkan *availability* dan *reliability* mesin *pellet*. Komponen kritis pada mesin *pellet* 1 ini diantaranya adalah *roll*, *fanbelt ayakan*, *baut ayakan*, dan *die*.

Pengujian Distribusi dan Penentuan Parameter

Uji *goodness of fit test* kemudian dilakukan untuk menunjukkan *probability plot*, nilai Anderson Darling (AD) dan nilai Pearson Correlation Coefficient dari beberapa dugaan distribusi. Nilai Anderson-Darling berfungsi untuk mengukur kesesuaian distribusi terhadap distribusi tertentu.

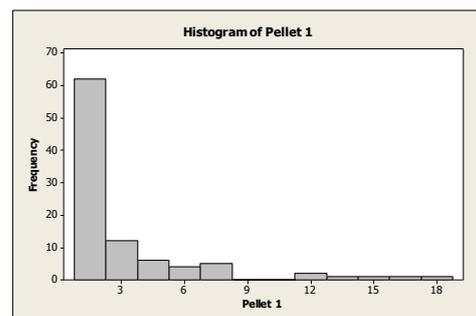
Nilai AD ditentukan dengan menggunakan *weighted squared distance* dengan untuk mengukur jarak antara garis yang terbentuk dengan garis *probability plot*. *Probability plot* diperoleh dengan berdasarkan pendekatan *maximum likelihood* atau *least squares estimates*.

Nilai Pearson *correlation coefficient* diperoleh dengan pendekatan *least squares estimates*. Nilai Pearson *correlation coefficient* merupakan salah satu ukuran korelasi yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dari dua variabel. Dua variabel dikatakan berkorelasi apabila perubahan salah satu variabel disertai dengan perubahan variabel lainnya, baik dalam arah yang sama ataupun arah yang sebaliknya. Nilai Pearson *correlation coefficient* yang kecil (tidak signifikan) bukan berarti kedua variabel tersebut tidak saling berhubungan, kedua variabel dapat mempunyai keeratan hubungan yang kuat namun nilai koefisien korelasinya mendekati nol. Pearson *correlation coefficient* hanya mengukur kekuatan hubungan linier dan tidak pada hubungan non linier.



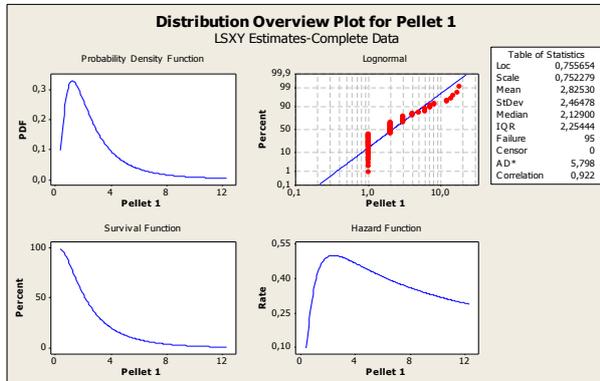
Gambar 4. Hasil Uji *Goodness of Fit Test* Interval Waktu Kerusakan Mesin Pellet 1

Grafik *probability plot* pada Gambar 4 menunjukkan bahwa keempat *plot* data yang mendekati *fitted line* (*cumulative distribution function*) adalah pada grafik distribusi *lognormal* dan *exponential*. Hal tersebut ditunjukkan dengan melihat *plot* yang ada mendekati *fitted line*. Data interval waktu kerusakan juga ditentukan dengan melihat pola/bentuk distribusi data dengan digambarkan ke dalam histogram pada Gambar 5.. Hasil penentuan distribusi dari beberapa analisa yang telah dilakukan kemudian disimpulkan distribusinya.



Gambar 5. Histogram Interval Waktu Kerusakan Mesin Pellet 1

Penentuan parameter dilakukan dengan peninjauan pada data kerusakan yang sama dengan *software* MINITAB 14, yaitu dengan menggunakan *distribution overview*.



Gambar 6. *Distribution Overview* Interval Waktu Kerusakan Mesin *Pellet* 1

Hasil *distribution overview* pada Gambar 6. dapat diperoleh parameter dari distribusi *lognormal* mesin *pellet* 1 dalam *table of statistics*. Parameter dari distribusi *lognormal* yaitu *location* dengan nilai 0,756, *scale* (*s*) dengan nilai 0,752 dan *median* (t_{med}) dengan nilai 2,129. Nilai *scale* menunjukkan bentuk atau pola dari beberapa fungsi probabilitas seperti *probability density function*, *reliability function*, dan *hazard function*. Nilai *median* menunjukkan nilai tengah dari data interval waktu kerusakan.

Tabel 1. Distribusi dan Parameter Interval Waktu Kerusakan Mesin *Pellet*

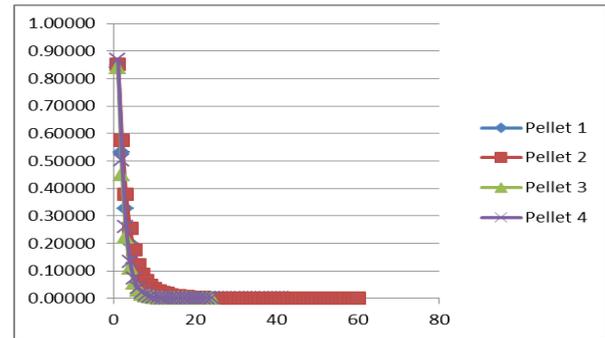
Mesin	Distribusi	Median	Location	Scale
Pellet 1	Lognormal	2,129	0,755	0,752
Pellet 2	Lognormal	2,34112	0,850	0,812
Pellet 3	Lognormal	1,85737	0,619	0,624
Pellet 4	Lognormal	2,00907	0,697	0,622

Analisa *Reliability* Mesin *Pellet*

Analisa *reliability* mesin *pellet* menggunakan data interval waktu kerusakan mesin *pellet* selanjutnya juga dihitung fungsi *reliability* ($R(t)$). Data yang digunakan adalah interval waktu kerusakan mesin *pellet*. Perhitungan *reliability* dilakukan pada mesin *pellet* 1 yang berdistribusi *lognormal* untuk interval waktu (t) satu hari, dengan nilai yang telah diketahui yaitu *scale* (s) 0,752279 dan *median* (t_{med}) 2,129 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\
 &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,752279} \ln \frac{1}{2,129}\right) \\
 &= 0,84134
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai *reliability* untuk masing-masing mesin *pellet* dihitung dengan interval waktu tertentu kemudian digambarkan kedalam grafik *reliability* pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik *Reliability* Mesin *Pellet*

Hasil pengolahan tersebut menunjukkan bahwa *reliability* mesin *pellet* dipengaruhi oleh interval waktunya, artinya semakin panjang interval waktu penggunaan mesin *pellet* maka *reliability* dari mesin *pellet* semakin menurun. Grafik *reliability* mesin *pellet* juga menunjukkan kemampuan mesin *pellet* dapat memenuhi fungsinya dalam interval waktu tertentu.

Analisa *MTTF* dan *MTTR*

Mean Time To Failure merupakan rata-rata selang waktu (interval waktu) terjadinya kerusakan pada sebuah komponen. Data yang digunakan adalah data interval waktu kerusakan, kemudian dihitung selisihnya antar waktu kejadian kerusakan.

Perhitungan nilai *MTTR* bertujuan untuk mengetahui lama rata-rata perbaikan atau penggantian komponen. Nilai *MTTR* diperoleh dari perhitungan yang sama seperti dengan perhitungan *MTTF*. Data yang digunakan adalah data lama perbaikan, lama penggantian serta lama perbaikan dan penggantian komponen.

Analisa *Availability*

Perhitungan *availability* juga dilakukan pada mesin *pellet* untuk kemudian dibandingkan dengan *availability* sesudah *predictive maintenance*. Prosentase tersebut menunjukkan bahwa *availability* mesin *pellet* berkisar antara 96%, artinya ada sekitar 4% waktu operasi yang tidak dapat dimanfaatkan mesin *pellet* untuk beroperasi. Hal tersebut salah satunya disebabkan karena banyaknya *unplanned downtime* yang terjadi disetiap mesin *pellet*. Penyebab terjadinya *unplanned downtime* salah satunya adalah waktu untuk *corrective* dan *breakdown maintenance*.

Tabel 2. Prosentase *Availability* Mesin *Pellet* (Mei 2013 - Februari 2014)

Mesin	MTTF (hari)	MTTR (hari)	Availability (%)
Pellet 1	2,83	0,08	97%
Pellet 2	3,26	0,08	98%
Pellet 3	2,26	0,05	98%
Pellet 4	2,44	0,10	96%

Analisa Total Biaya Minimum

Total biaya minimum perlu dilakukan untuk mengetahui sistem *maintenance* yang seimbang antara *failure cost* dengan *preventive cost* sehingga bisa menghasilkan total biaya terkecil. Biaya-biaya yang perlu diketahui dalam perhitungan total biaya minimum antara lain biaya kehilangan produksi akibat jumlah kemampuan produksi yang hilang, biaya komponen, dan biaya tenaga kerja.

Failure Cost dan Preventive Cost

Failure cost timbul apabila komponen terjadi diluar perkiraan atau diluar jadwal perawatan. *Failure cost* merupakan biaya yang timbul karena penggantian komponen mesin yang rusak. *Preventive cost* merupakan biaya yang timbul karena perawatan pencegahan dari komponen atau mesin. Perhitungan *preventive cost* dan *failure cost* dapat dilakukan dengan mengetahui biaya kehilangan produksi, biaya pekerja, waktu perawatan dan harga komponen.

Total Biaya Minimum (Tc)

Total biaya minimum diperoleh ketika ada keseimbangan antara *failure cost* dengan *preventive cost*. Perhitungan tidak hanya dilakukan pada komponen kritis saja, tetapi juga untuk menentukan *availability* dan *reliability* mesin *pellet* sebelum dan sesudah melakukan *predictive maintenance*. Contoh perhitungan berikut adalah untuk komponen *roller* mesin *pellet* 1 untuk periode (t) interval waktu pertama:

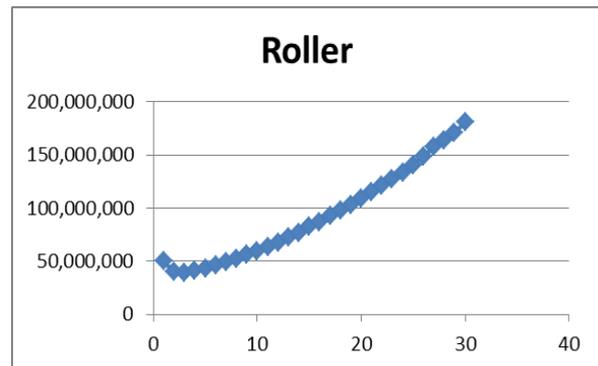
$$Tc(1) = \frac{C_p \times R(t) + C_f \times [1 - R(t)]}{T.R(t) + \int_0^t t.f(t) dt} = \frac{40.290.931 \times 0,88 + 155.890.149 \times [1 - 0,88]}{1,0,88 + 1,0,19429} = 50.262.660$$

Hasil perhitungan total biaya *roller* mesin *pellet* tersebut akan terus dihitung hingga periode waktu tertentu yang menunjukkan nilai Tc terendah. Nilai Tc terendah akan menunjukkan interval hari interval hari perawatan untuk *predictive maintenance*. Penentuan interval hari perawatan *predictive maintenance* ditentukan lewat analisa grafik total biaya.

Grafik total biaya menunjukkan periode waktu dan total biaya yang dikeluarkan untuk perawatan. Perhitungan total biaya untuk komponen kritis *roller pellet* 1 digambarkan pada grafik total biaya di Gambar 7.

Grafik total biaya pada Gambar 7. komponen *roller pellet* 1 menunjukkan titik yang terendah pada periode waktu hari ketiga. Komponen *roller* pada *pellet* 1 memiliki interval waktu perbaikan dan penggantian adalah tiga hari dengan tingkat *reliability* 0,55172. Total biaya minimum yang

terjadi pada komponen *roller pellet* 1 adalah Rp. 39.651.101.



Gambar 7. Grafik Total Biaya Komponen Roller pada Mesin Pellet 1

Perbandingan Sebelum dan Sesudah Predictive Maintenance

Penjadwalan *predictive maintenance* dilakukan berdasarkan analisa beberapa faktor yaitu *reliability*, *availability* serta interval waktu perawatan optimal dari segi biaya. *Reliability* mesin *pellet* mengalami peningkatan namun untuk *pellet* 3 dan 4 tidak mengalami perubahan yang dari segi *reliability*. Perbandingan *reliability* mesin *pellet* sebelum dan sesudah *predictive maintenance* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Reliability Mesin Pellet

Mesin	Sebelum	Sesudah	Selisih
Pellet 1	32,64%	53,19%	20,55%
Pellet 2	37,83%	57,54%	19,71%
Pellet 3	45,22%	45,22%	0,00%
Pellet 4	50,40%	50,40%	0,00%

Availability mesin *pellet* mengalami peningkatan akibat usulan penjadwalan *predictive maintenance*. Perbandingan *availability* mesin *pellet* sebelum dan sesudah *predictive maintenance* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Availability Mesin Pellet

Mesin	Sebelum	Sesudah	Selisih
Pellet 1	97%	98,17%	1%
Pellet 2	98%	97,50%	0%
Pellet 3	98%	98,84%	1%
Pellet 4	96%	98,85%	3%

Interval waktu perawatan *predictive maintenance* berbeda untuk setiap komponen kritis. Interval waktu perawatan telah ditentukan dengan

berdasarkan perhitungan total biaya minimum (T_c) yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis

Mesin	Komponen	t (hari)
Pellet 1	Roller	3
	Fanbelt Ayakan	13
	Baut Ayakan	35
Pellet 2	Die	28
	Roller	31
	Fanbelt Ayakan	29
Pellet 3	Baut Ayakan	34
	Roller	2
	Feedcone	19
Pellet 4	Nozzle CPO	11
	Die Clamp	6
	Roller	3
Pellet 4	Feedcone	10
	Die	5

Total biaya perawatan untuk setiap komponen kritis cenderung menurun ketika melaksanakan usulan jadwal *predictive maintenance* yang dilaksanakan sesuai dengan penentuan interval waktu perawatan. Total biaya perusahaan dapat diturunkan akibat *predictive maintenance* berkisar antara 12% hingga

90% dari total biaya sebelum dilaksanakan *predictive maintenance*.

Simpulan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini untuk meningkatkan *availability* dan *reliability* mesin *pellet* dengan memperhatikan total biaya minimum. Usulan *predictive maintenance* pada komponen kritis untuk setiap mesin *pellet* dapat meningkatkan *availability* dan *reliability* dari mesin *pellet*. Penerapan *predictive maintenance* dapat meningkatkan *availability* pada mesin *pellet* satu, tiga dan empat dimana peningkatannya berkisar antara 1% hingga 3% jika dibandingkan dengan system *maintenance* sebelumnya. Nilai *reliability* untuk beberapa mesin *pellet* mengalami peningkatan sebesar 20,55% untuk *pellet* 1 dan 19,71% untuk *pellet* 2. Total biaya *predictive maintenance* pada setiap komponen kritis juga mengalami penurunan dibandingkan biaya *maintenance* sebelumnya Penghematan biaya untuk masing - masing komponen kritis berkisar antara 12% hingga 90% dari biaya *preventive maintenance* sebelumnya.

Daftar Pustaka

1. Ebeling, Charles E., *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw-Hill Book, Singapore, 1997.
2. Lyonnet, P., *Maintenance Planning Mathematic and Methods*, Chapman & Hall, London, 1991.

