

ISSN 1410 - 8070

SAINSTEK Volume XII No. 1 Edisi September 2008
<http://ejournal.unp.ac.id/index.php/sainstek>

SAINSTEK

Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Jurnal Sainstek	Vol. XI	No. 1	Hlm. 1 - 98	Padang September 2008	Akreditasi No. 55/DIKTI/ Kep/2005
--------------------	------------	----------	----------------	--------------------------	---

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS NEGERI PADANG

SAINSTEK
Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
ISSN 1410-8070
SK REKTOR IKIP PADANG NO. 142/K12/PT/1998

Penasehat
Rektor UNP Padang
Z. Mawardi Effendi

Pengarah
Pembantu Rektor I
Yanuar Kiram

Pemimpin Umum
Ketua Lembaga Penelitian UNP Padang
Anas Yasin

Pemimpin Redaksi/Ketua Penyunting
Zulhendra

Sekretaris Redaksi/Waka Penyunting
M. Giatman

Anggota Redaksi/Penyunting Ahli
Hasan Maksum
Festiyed
Anizam Zein
Rusli HAR
Jon Efendi

Sekretariat
Armisah
Novri Elvida
Edaliani
Zahardi
Hardiyanto

Alamat Redaksi :
Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang
Telp. (0751) 443450, Fax. (0751) 7055628

Terakreditasi
KPTS. Dirjen Dikti Depdiknas
No. 55/DIKTI/Kep/2005
Tanggal 18 November 2005

Pemanfa
dan bidang
memanfaatk
cepat, akura
terhadap p
efisien deng
Pemode
Model mat
komputer. I
tataran apli
rancangan.
contoh pera
maupun apl
Tulisan
pemodelan
teknologi in
kimia orga
membangun
metode sim
fisika. Alex
pada organi
meneliti pe
model opp
meningkatk
Kajian
motor indu
perubahan
menggunak
dan implem
fasa. Sedan
menggunak
Kajian
Gustian, E
genetik tar
Eriborus A
karakterisas
menulis pe
Amran me
Sriharyanti
Pada bidan
sistem per
termokopel
ferroelektri
ditumbuhka

Pemanfaatan teknologi komputer dan informatika telah merambah berbagai bidang kehidupan dan bidang ilmu. Bidang ilmu dasar yang sensitif dan bidang aplikasi keteknikan yang rumit telah memanfaatkan komputer dan informatika. Menggunakan komputer dapat diproses informasi dengan cepat, akurat dan tepat waktu, dapat pula disimulasikan proses dan kondisi yang rumit serta sensitif terhadap perubahan kecil. Pengolahan dan pemodelan sistem untuk berbagai keperluan juga semakin efisien dengan menggunakan komputer.

Pemodelan merupakan tahap awal pemecahan masalah bidang sains dan aplikasi teknologi. Model matematik sederhana sampai yang rumit dapat diformulasikan menggunakan bantuan komputer. Model-model keteknikan juga digunakan mendeskripsikan formulasi abstrak ke dalam tataran aplikasi dan dapat pula menyederhanakan permasalahan yang dihadapi sebelum tahap rancangan. Beberapa perangkat lunak aplikasi komputer yang spesifik maupun general, sebagai contoh perangkat lunak Matlab, sering dipakai sebagai pemodelan sistem dalam bidang ilmu dasar maupun aplikasi keteknikan yang rumit.

Tulisan dalam edisi Sainstek kali ini cukup beragam, namun tema yang diangkat adalah aplikasi pemodelan komputer dalam ilmu dasar dan teknik. Bidang lain yang dituliskan kali ini adalah aplikasi teknologi industri dan manajemen perusahaan atau pabrik, aplikasi biologi pada tanaman, bidang kimia organik, pengendalian motor listrik dan teknik elektronika. Festiyet mengawali kajian membangun program pemodelan untuk menghitung efisiensi energi radiasi benda hitam dengan metode simpson. Kajian melibatkan pemrograman dengan bahasa Borland Delphi dan ilmu dasar fisika. Alexander Setiawan membahas implementasi manajemen kearsipan berbasis *lotus-notes* pada organisasi perusahaan dalam membangun satuan pengawasan internal. Selanjutnya Giatman meneliti penentuan interval waktu penggantian optimal komponen sebuah pabrik berdasarkan model *opportunity based-age replacement* dapat menjamin sistem perawatan yang tepat untuk meningkatkan ketersediaan fasilitas produksi.

Kajian sesuai tema pemodelan juga ditulis Ahyanuwardi berjudul pemodelan perilaku dinamik motor induksi tiga fasa. Tulisan berhubungan dengan motor listrik induksi yang mengalami perubahan perilaku. Penelitian bersifat pengujian laboratorium dan simulasi komputer menggunakan Simulink Matlab. Selanjutnya Almasri dan Agus Santoso membahas perancangan dan implementasi kontroler berbasis pengetahuan pada pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa. Sedangkan Baharuddin meneliti perbandingan kinerja citra digital *watermark* secara simulasi menggunakan Matlab.

Kajian lainnya edisi ini dalam bidang biologi tanaman dan pertanian terdapat Benni Satria, Gustian, Etti Swasti, Musliar Kasim dan Darnetti menulis tentang karakteristik morfologi dan genetik tanaman penghasil gaharu. Novri Nelly dan kawan-kawan menulis Kajian parasitoid *Eriborus Argentopilosus cameron* pada *Spodoptera litura fabricus*. Nurbailis dan Martinus menulis karakterisasi genetik *Trichoderma spp indigenus rizosfir* pisang. Anizam Zein dan Irma Leilani menulis pengaruh pupuk organik cair terhadap pertumbuhan kedelai. Dalam bidang kimia, Ali Amran menulis pengaruh garam-garam nitrat terhadap konsentrasi miselisasi kritis saponin. Sriharyanti dan Maria Erna menulis ketahanan membran komposit khitosan polisulfon terhadap PH. Pada bidang teknik elektronika kontrol terdapat Syufrawardi, Yohandri dan Asrizal merancang sistem pengontrolan temperatur on-off menggunakan mikrokontroler dengan pengindera termokopel. Terakhir Yenni Darvina dalam bidang material elektronik membahas tentang bahan ferroelektrik berkenaan dengan efek konsentrasi prekursor terhadap sifat fisik film tipis BST yang ditumbuhkan menggunakan *Spin Coating*.

Redaksi

ISI NOMOR INI

1. PROGRAM PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI RADIASI BENDA HITAM MELALUI METODE SIMPSON DENGAN BORLAND DELPHI 7. (Festiyed).....	1
2. IMPLEMENTASI MANAJEMEN KEARSIPAN BERBASIS <i>LOTUS NOTES</i> . (Alexander Setiawan dan Leo Willyanto Santoso).....	6
3. PENETUAN INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN OPTIMAL KOMPONEN BERDASARKAN MODEL OPPORTUNITY BASED-AGE REPLACEMENT (M. Giatman).....	13
4. PEMODELAN PERILAKU DINAMIK MOTOR INDUKSI TIGA FASA (Ahyanuardi).....	21
5. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI <i>CONTROLLER KNOWLEDGE BASE</i> PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA (Almasri dan Agus Santoso).....	27
6. PERBANDINGAN KINERJA CITRA <i>WATERMARKING</i> DENGAN MENGGUNAKAN METODE <i>DISCRETE WAVELET TRANSFORM</i> (DWT) DAN <i>DISCRETE COSINUS TRANSFORM</i> (DCT) (Baharuddin).....	36
7. KARAKTERISTIK MORFOLOGI DAN GENETIK TANAMAN PENGHASIL GAHARU (<i>Aquilaria spp</i>) ENDEMIK SUMATERA BARAT (Benni Satria, Gustian, Etti Swasti, Musliar Kasim, dan Darnetti).....	43
8. KAJIAN PARASITOID: <i>Eriborus argenteopilosus</i> CAMERON (Hymenoptera : Ichneumonidae) PADA <i>Spodoptera. litura</i> Fabricius (Lepidoptera : Noctuidae) (Novri Nelly, Yaherwandi, S. Gani dan Apriati).....	53
9. KARAKTERISASI GENETIK <i>Trichoderma spp</i> INDIGENUS RIZOSFIR PISANG YANG BERPOTENSI PENGENDALIAN <i>Fusarium oxysporum f. Sp. cubense</i> PENYEBAB PENYAKIT LAYU FUSARIUM PADA PISANG (Nurbailis dan Martinus).....	59
10. PENGARUH PUPUK ORGANIK CAIR TERHADAP PERTUMBUHAN KEDELAI (<i>Glycine max</i> (L.) Merr) PADA TANAH PODZOLIK MERAH KUNING (Anizam Zein dan Irma Leilani).....	64
11. PENGARUH GARAM-GARAM NITRAT TERHADAP KONSENTRASI MISELISASI KRITIS (CMC, CRITICAL MICELLIZATION CONCENTRATION) SAPONIN (Ali Amran).....	69
12. KETAHANAN MEMBRAN KOMPOSIT KHITOSAN/ POLISULFON TERHADAP PH (Sri Haryati dan Maria Erna).....	74
13. SISTEM PENGONTROLAN TEMPERATUR ON-OFF MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89C51 DENGAN PENGINDERA TERMOKOPEL (Syufrawardi, Yohandri dan Asrizal).....	78
14. EFEK KONSENTRASI PREKURSOR TERHADAP SIFAT FISIK FILM TIPIS $BaSrTiO_3$ (BST) SRUKRUR MFM DAN MFS YANG DITUMBUHKAN DENGAN <i>SPIN COATING</i> (Yenni Darvina).....	86
15. INDEKS SUBJEK	94

PENETUAN INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN OPTIMAL KOMPONEN BERDASARKAN MODEL OPPORTUNITY BASED-AGE REPLACEMENT

M. Giatman ^{*)}

ABSTRACT

Maintenance system, especially replacement that is not good, can cause much lose out for the company. The lose out is caused production process disturbing bay unexpectadly or unscheduled replacement. This will lose out for factory that have continue flow shop type, because replacement of the component that is need shut down machine will cause all machine in the process production stop. To anticipate of lose out that cause by replacement activity, so in this research will search interval of optimal time replacement that is can minimizing total cost of replacement especially for Bearing Pinger component in machine washer by using Opportunity Based-Age Replacement model. In Opportunity Based-Age Replacement model, Bearing Pinger will change before age-economic has done by using firs opportunity that is coming. The opprtunity is shut down production that has scheduled by PPIC department, and component replacement that have done in this opportunity not causing lose out because production process that stop expectadly. From the resul the manner of data has got total cost of replacement per hours that is leaved by Opportunity Base-Age Replacement model is smaller than total cost of replacement per hours by replacement bases on failure component that now is applied in PT. Coca Cola Bottling Indonesia-Central Sumatera. So, we get the conclusion that total cost of replacement for Bearing Pinger of the company has decrease by using Opportunity Based-Age Replacement model.

Keywords: Replacement, Optimal, Opportunity based age replacement, Preventive maintenance, Corrective maintenance.

^{*)} Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Telp. 0751-7055644, e-mail: giat_5131@yahoo.co.id, giatman@ft.unp.ac.id

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Mesin-mesin sebagai salah satu fasilitas produksi memiliki peran sangat penting bagi kelangsungan suatu proses produksi perusahaan, karena kerusakan terhadap salah satu mesin dapat mengakibatkan terhambatnya aktivitas produksi. Oleh karena itu menyiapkan kebijakan system perawatan (*maintenance*) yang tepat diperlukan untuk meningkatkan ketersediaan (*availability*) fasilitas produksi

Kegiatan *maintenance* merupakan kegiatan untuk memelihara kondisi mesin-mesin produksi agar berada dalam kondisi baik selama proses produksi berjalan. Dimana salah satu bagian penting dalam *maintenance* adalah kegiatan penggantian (*Replacement*).

Replacement dilakukan untuk mengganti komponen-komponen yang tidak layak lagi

untuk beroperasi dengan komponen baru. Dalam prakteknya kegiatan penggantian ini ada yang dilakukan berdasarkan interval waktu yang tetap dan ada juga yang dilakukan setelah terjadi kerusakan (*failure*) pada komponen.

Kegiatan *Replacement* di PT. Coca Cola Bottling Indonesia-Central Sumatera sendiri masih dilakukan hanya apabila komponen mengalami kerusakan. Hal ini menyebabkan terhentinya produksi apabila kerusakan komponen terjadi pada saat produksi sedang berjalan.

Sistem *Replacement* berdasarkan kerusakan komponen ini menimbulkan kerugian yang cukup besar bagi perusahaan, karena waktu produksi akan terhenti selama proses penggantian, termasuk waktu untuk mencari komponen pengganti ke gudang *spare part*. Sesungguhnya hal ini dapat dicegah dengan cara melakukan penggantian komponen dengan

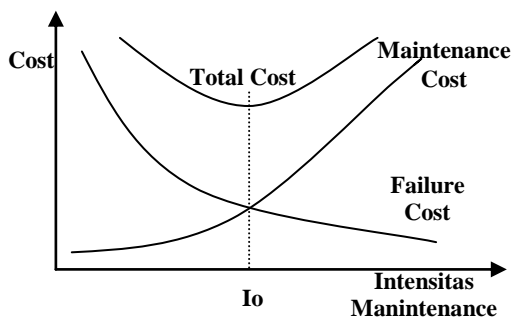
memanfaatkan kesempatan *shut down* mesin yang sudah terjadwal. Adapun masalah akan dibatasi pada salah satu komponen dari mesin *washer* saja, yaitu komponen *Bearing Pinger*, karena komponen ini paling sering mengalami kerusakan dan berakibat pada terjadinya *shut down system* produksi.

Berdasarkan perumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan interval waktu penggantian yang optimal berdasarkan model *Opportunity Based-Age Replacement* dengan kriteria meminimasi *down time* dan biaya total penggantian menggunakan pendekatan statistik.

Penelitian diharapkan dapat menemukan interval waktu penggantian yang lebih baik sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar tanpa diganggu oleh kerusakan mesin yang tak terkendali.

Perawatan adalah kegiatan untuk memelihara, menjaga fasilitas atau peralatan pabrik melalui perbaikan, penyesuaian dan penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang telah direncanakan, (Gani, 1985 dan Assauri, 1993). Selanjutnya Jardine (1973), menjelaskan bahwa frekuensi perawatan mesin yang tinggi akan mengakibatkan tingginya biaya perawatan, namun sebaliknya akan menyebabkan biaya perbaikan akibat kerusakan menurun. Hal ini karena frekuensi perawatan yang tinggi akan meminimasi resiko kerusakan pada alat.

Komponen biaya perawatan meliputi: (a) Biaya akibat kerusakan (*Failure cost*) terdiri dari: biaya kecelakaan, biaya kerusakan, biaya keterlambatan produksi, dan biaya waktu menganggur, dan (b) Biaya Program Perawatan (*Maintenance cost*), lihat gambar 1.



Gambar 1. Komponen Biaya Perawatan

Sistem perawatan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *preventif maintenance* dan *corrective maintenance*, (Assauri, 1993).

Preventive maintenance, yaitu perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga. Tujuan *preventive maintenance* untuk mencegah terjadinya kegagalan (*failure*). Menurut Niebel yang dikutip Anang Gani (1992), tujuan dari *preventive maintenance* antara lain: (a) Meminimasi jumlah *breakdown* dari peralatan yang kritis, (b) Mengurangi kehilangan produksi akibat kegagalan dari peralatan, (c) Meningkatkan produktivitas peralatan produksi, (d) Memberikan perencanaan dan penjadwalan yang lebih baik untuk tindakan perawatan yang diperlukan, dan (e) Memberikan K3 yang lebih baik bagi pekerja. *Preventive maintenance* dapat dibedakan atas *Systematic maintenance* dan *Predict maintenance*.

Corrective Maintenance (Perawatan Perbaikan), perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau gangguan pada mesin sehingga sistem tidak dapat berfungsi dengan baik. Perbaikan jenis ini disebut juga dengan reparasi yang biasanya terjadi karena perawatan pencegahan tidak dilakukan atau perawatan pencegahan sudah dilakukan tetapi pada saat tertentu mesin masih rusak.

Dalam memperkirakan kapan suatu mesin mengalami kerusakan dapat digunakan pendekatan statistik (Jardine (1973), yaitu analisa distribusi statistik sebagai solusi masalah yang bersifat probabilistik. Adapun analisa fungsi tersebut akan ditentukan pula oleh: (a) Fungsi distribusinya, apakah variabelnya random yang diskrit, atau random yang kontinu. (b) Fungsi Laju Kerusakan, (c) Fungsi Keandalan (*Reability Function*), (d) Fungsi Distribusi Kumulatif.

Avaibility merupakan fungsi yang berkaitan dengan *down time* mesin. Dimana *avaibility* menyatakan probabilitas bahwa sebuah sistem beroperasi pada waktu t . *Avaibility* akan sama dengan *reliability* untuk sistem yang tidak dapat diperbarui. Sedangkan untuk sistem yang dapat diperbarui, fungsinya akan tergantung pada *up* dan *down*. Skala waktu untuk *reliability* adalah periode waktu *up* kontinu, sedangkan untuk *avaibility* diukur pada periode waktu yang potensial terjadi *down*.

Untuk jangka pendek nilai *avaibility* dinyatakan sebagai berikut:

$$A(t,T) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} A(t)dt \dots\dots\dots (1)$$

untuk jangka panjang nilainya adalah:

$$A(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t A(t)dt \dots\dots\dots (2)$$

Menentukan interval inspeksi optimal guna meminimasi *downtime* ekuivalen dengan maksimasi *availability*:

$$Avaibility/unit\ waktu = 1 - down-time/unit\ waktu \dots\dots\dots (3)$$

Konsep Maintainability

Jardine (1973:23) *maintainability* suatu peralatan adalah probabilitas peralatan yang rusak akan beroperasi kembali dalam periode waktu tertentu, dimana tindakan perawatan seperti perbaikan kecil (*repair*), perbaikan besar (*overhaul*), dan penggantian (*replacement*) dilaksanakan.

Jika *g(t)* adalah fungsi kepadatan probabilitas dari waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan tindakan perawatan maka secara sistematis *maintenabilitas* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M(t) = \int_0^T g(t)dt \dots\dots\dots (4)$$

Jadi terlihat jelas bahwa *maintenability* berkaitan erat dengan standar desain suatu peralatan. Jika diketahui waktu perbaikan berdistribusi ekponensial fungsi *maintenabilitas* akan menjadi:

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \frac{t}{MTTR} \right] \dots\dots\dots (5)$$

Dimana nilai MTTR dapat diestimasi dari persamaan:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i T_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

T_i : waktu perbaikan ketika kompo-nen i rusak
 M : jumlah komponen yang diper-baiki dalam perawatan

λ_i : laju kerusakan komponen i

Kebijakan Penggantian

Kebijakan penggantian dan perawatan dapat diklasifikasikan atas persoalan deterministik dan probabilistik [*stokastik*] (Jardine, 1973). Penggantian deterministik terjadi jika waktu dan hasil tindakan penggantian tersebut diasumsikan dapat diketahui dengan pasti.

Penggantian probabilistik terjadi jika waktu dan hasil tindakan penggantian komponen tidak dapat diketahui dengan pasti, tetapi bersifat “mungkin” tergantung pada kondisi tertentu. Dalam situasi sederhana dapat digambarkan peralatan atau mesin dalam kondisi baik atau rusak. Hukum probabilitas menyebutkan bahwa perubahan dari baik ke rusak mungkin digambarkan dengan distribusi waktu antara penyempurnaan tindakan penggantian komponendan kerusakan yang terjadi. Waktu untuk terjadi rusak merupakan variabel acak yang distribusinya mengikuti suatu distribusi kerusakan peralatan.

Menurut Jardine (1973:32) ada dua kondisi yang harus diperhatikan dalam kebijakan penggantian komponen, yaitu: (a) Ongkos total penggantian komponen akibat kerusakan harus lebih besar dari pada ongkos total penggantian komponen untuk melakukan pencegahan, (b) Laju kerusakan dari peralatan harus meningkat.

Secara umum terdapat dua model penggantian (Jardine, 1973:9) yaitu model *Block Replacement* dan *Age Replacement*. Model penggantian lain timbul dari pengembangan model *Age Replacement* yang disebut model *Opportunity Based-Age Replacement*. Berikut uraian dari ketiga model penggantian tersebut :

Model Block Replacement

Penggantian komponen pada model ini dilakukan pada interval tetap (t_p), tanpa memperhatikan umur komponen. Fokus utama dalam model ini adalah pelaksanaan penggantian *preventive* setiap interval waktu t_p, tanpa memperhatikan frekuensi penggantian komponen akibat kerusakan selama selang waktu t_p. Jadi pada saat waktu t_p semua komponen akan diganti tanpa memperhatikan kapan komponen tersebut terakhir kali diganti dalam interval waktu t_p.

Model Age Replacement

Model penentuan interval waktu pencegahan dengan kriteria minimasi ongkos total perawatan perunit waktu. Pada model ini penggantian pencegahan dilakukan pada interval waktu yang konstan dengan tetap melakukan

penggantian apabila terjadi kerusakan. Apabila penggantian dilakukan akibat terjadi kerusakan maka penggantian pencegahan berikutnya ditentukan berdasarkan penggantian pencegahan terakhir yang dilakukan.

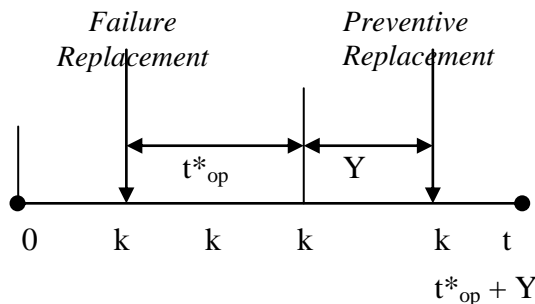
Model Opportunity Based-Age Replacement

Pemberhentian salah satu mesin dari suatu proses produksi yang bersifat kontiniu akan menyebabkan terhentinya proses produksi secara keseluruhan, akibat dari *shut down* tersebut keuntungan dari seluruh bagian lini produksi tersebut akan hilang.

Pada prinsipnya pemberhentian atau *shut down* dengan kriteria tertentu pada suatu lini produksi yang bersifat kontiniu dapat dimanfaatkan untuk melakukan pelaksanaan *preventive maintenance* (Dekker dan Djikstra, 1992). Salah satu model replacement yang memanfaatkan *shut down* mesin adalah model *Opportunity Based-Age Replacement* yang dikembangkan oleh Rommert Dekker dan Matthijs C, Djikstra.

Model *Opportunity Based-Age Replacement* merupakan pengembangan dari model *Age Replacement*, tapi interval waktu yang dipakai dalam model ini tidak selalu t , melainkan disesuaikan dengan datangnya kesempatan untuk melakukan penggantian.

Dalam model *Opportunity Based-Age Replacement* ini, komponen diganti pada suatu kesempatan jika umur komponen tersebut telah mencapai interval optimal pengantiannya (t^*_{op}). Tetapi jika terjadi kerusakan pada interval waktu t^*_{op} maka penggantian komponen dilakukan pada saat itu juga dan rencana penggantia pencegahan berikutnya dilakukan pada kesempatan pertama yang datang setelah interval waktu t^*_{op} yang dihitung mulai saat penggantian, karena disebabkan kerusakan komponen tersebut, jelasnya perhatikan Gambar 2.



Gambar 2. Model Opportunity Based-Age Replacement

Keterangan:

k : menunjukkan suatu kesempatan

t^*_{op} : interval optimal penggantian

Y : waktu antar kerusakan/penggantian

Ekspektasi biaya total penggantian persatuan waktu berdasarkan kesempatan ($g_{op}(t)$) dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$g_{op}(t) = \frac{C_{op}(t)}{L_{op}(t)} \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

$C_{op}(t)$: ekspektasi biaya total penggantian persiklus

$L_{op}(t)$: ekspektasi panjang siklus

Ekspektasi biaya total penggantian persiklus adalah:

(biaya pada siklus *preventive replacement* (C_p) x probabilitas dari siklus *preventive replacement*) + (biaya pada siklus *failure replacement* (C_f) x probabilitas dari siklus *failure replacement*)

Probabilitas siklus preventive replacement sama dengan probabilitas terjadinya kerusakan setelah interval penggantian (t) hingga datangnya kesempatan (Y) yang dinotasikan dengan $P(X > t + Y)$. Adapun probabilitas dari siklus kegagalan adalah probabilitas terjadinya kerusakan (Y) dan dinotasikan dengan $P(X < t + Y)$.

Ekspektasi biaya total penggantian persiklus ($C_{op}(t)$) dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$C_{op}(t) = C_p + (C_f - C_p) \cdot P(X < t + Y) \dots\dots\dots (8)$$

Ekspektasi panjang siklus didapat dengan persamaan:

$$L_{op}(t) = \int_0^T (1 - F_x(X)) dx + EY \cdot P(X > t + Y) \dots (9)$$

Diketahui:

$$P(X > t + Y) = \int_0^\infty (1 - F_x(x + t)) \cdot dF_y(x)$$

dan

$$P(X < t + Y) = 1 - \int_0^\infty (1 - F_x(x + t)) \cdot dF_y(x)$$

Sehingga ekspektasi biaya total penggantian persatuan waktu berdasarkan kesempatan ($g_{op}(t)$) adalah:

$$g_{op}(t) = \frac{C_p + (C_f - C_p)P(X < t + Y)}{\int_0^t (1 - F_x(x))dx + EY.P(X > t + Y)}$$

dimana:

- T : interval waktu penggantian
- F_x(.) : fungsi distribusi kumulatif kerusakan
- F_y(.) : fungsi distribusi kumulatif waktu antara kerusakan dengan kesempatan pertama yang datang.
- Y : variabel acak waktu antara kerusakan dengan kesempatan pertama yang datang
- EY : ekspektasi nilai y (mean) dari fungsi y.
- C_f : biaya penggantian kerusakan
- C_p : biaya penggantian pencegahan

Apabila laju kerusakan meningkat sejalan dengan waktu maka dapat diperoleh suatu solusi yang optimal terhadap penggantian komponen berdasarkan kesempatan (t^*_{op}) dapat ditentukan ketika ekspektasi biaya total penggantian persatuan waktu mencapai nilai minimum ($g_{op}(t)_{min}$)

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dilini proses produksi PT. Coca Cola Bottling Indonesia Central Sumatera di Pasar Usang Padang, dimana pada lini produksi ini terdapat tujuh tahapan utama proses produksi, yaitu: proses pengolahan air, proses pembuatan syrup, proses pemurnian CO₂, proses pencucian botol, proses pencampuran, proses pengisian, dan proses penutupan botol.

Adapun metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi tahapan sebagai berikut:

- a. melakukan observasi dan pengkajian terhadap pemasalahan yang ada terutama tentang terjadinya penghentian proses (*shut-down*) mesin karena berbagai alasan. Berdasarkan kajian awal diketahui proses penggantian komponen *Bearing Pinger* pada mesin *Washer* merupakan *shut-down* terbesar selama priode waktu tahun 2003-2005, yang selanjutnya dijadikan permasalahan utama dalam penelitian ini.
- b. Pengumpulan data : Data waktu *down-time*, data waktu penggantian komponen, dan data biaya penggantian komponen.
- c. Pengolahan data, meliputi (a) waktu *down-time* terdiri dari : Penentuan komponen yang akan diganti, Perhitungan selang

waktu antar kerusakan komponen., Pendugaan distribusi waktu antar kerusakan komponen., Penentuan parameter distribusi waktu antar kerusakan., Uji kecocokan distribusi waktu antar kerusakan komponen; (b) Waktu penggantian komponen terdiri dari: Penentuan *shut-down* kesempatan untuk penggantian., Perhitungan selang waktu antar kerusakan., Pendugaan distribusi waktu antar kerusakan., Penentuan parameter distribusi waktu antar kerusakan, Uji kecocokan distribusi waktu; (c) Biaya akibat penggantian komponen meliputi : Perhitungan biaya penggantian karena kerusakan dan biaya total penggantian karena perbaikan.

- d. Perhitungan fungsi ekspektasi biaya total penggantian persatuan waktu berdasarkan kesempatan.
- e. Penentuan interval waktu optimal penggantian komponen *Bearing Pinger* berdasarkan kesempatan umur penggantian (*opportunity based-age replacemen*).
- f. Analisa hasil dan kesimpulan.
Untuk lebih jelasnya perhatikan bagan kerangka pemecahan masalah berikut (gambar 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data selama periode 2003-2005 diketahui penyebab *shut down* pada PT. Coca Cola Bottling Indonesia-Central Sumatera terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi *Down Time Washer* Periode 2003 - 2005

No.	Alasan Shut Down	F. Down Time	Σ Down Time (menit)	Rerata Down Time (menit)
1	<i>Start Up</i>	237	3555	15
2	<i>Clean Up</i>	245	5030	20,53
3	<i>Change Flavour</i>	613	40738	66,46
4	<i>Change Size Operator Down</i>	422	8440	20
5	<i>Time</i>	6019	46660	7,75

Sumber : PT. Coca Cola Bottling Indonesia Sumatera, 2006

- *Start-Up*

Shut down ini dijadwalkan oleh bagian PPIC sehingga dapat digunakan untuk kesempatan penggantian komponen. Frekuensi *down time start-up* cukup tinggi yaitu 237 kali namun rata-rata *down time* yang dimilikinya tidak terlalu panjang, yaitu 15 menit.

- *Clean-Up*

Clean-Up memiliki frekuensi *down time* 245 kali selama periode Januari 2003 sampai Desember 2005 dengan rata-rata *down time* 20,53 menit.

- *Change Flavour*

Selama periode penelitian, terjadi 613 kali kegiatan *change flavour* dengan rata-rata *down time* 66,46 menit. *Change flavour* merupakan salah satu *shut down* yang dijadwalkan oleh bagian PPIC, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai kesempatan untuk penggantian.

- *Change Size*

Change size memiliki frekuensi *down time* 422 kali dengan rata-rata *down time* 20 menit. *Shut down* ini juga dijadwalkan oleh bagian PPIC.

- *Operator Down Time*

Shut down dari kegiatan ini tidak dapat dimanfaatkan karena tidak terjadwal dari bagian PPIC dan rata-rata *down time*-nya terlalu kecil yaitu 7,75 menit.

Dari lima penyebab *shut down* di atas, yang masih dapat dimanfaatkan untuk kesempatan penggantian adalah *start-up*, *clean-up*, *change flavour*, dan *change size*. Dengan memperhatikan frekuensi dan rata-rata *down time*-nya dapat diketahui yang paling sesuai dengan kriteria adalah *change flavour* karena memiliki frekuensi penggantian cukup tinggi dan rata-rata *down time* paling besar yaitu 66,46 menit. Kegiatan *change flavour* dapat dimanfaatkan untuk penggantian seluruh komponen mesin *washer*.

Dari data periode 2003-2005 tersebut terdapat 6 komponen mesin *washer* yang diganti, yaitu *plastik pocket*, *teflon pocket*, *carrier pocket*, *bearing pinger*, *level caustic 1*, dan *as solenoid*, seperti dijelaskan pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Penggantian Komponen Washer Periode 2003- 2005

No.	Nama Komponen	F. Down Time (kali)	Total Down Time (menit)	Rerata Down Time (menit)
1	Plastik Pocket	12	119	9.98
2	Teflon Pocket	3	18	6
3	Carrier Pocket	5	110	22
4	Bearing Pinger	41	1524.79	37.19
5	Level Caustic 1	3	165	55
6	As Solenoid	3	315	105

Sumber : PT. Coca Cola Bottling Indonesia-Cen. Sumatera

Rata-rata *down time* yang ditimbulkan akibat penggantian 6 komponen di atas semuanya lebih kecil dibandingkan rata-rata *down time change flavour*, sehingga semua komponen tersebut memenuhi kriteria untuk

diganti pada saat *change flavour*.

Tabel 3 : Rekapitulasi Penggantian Komponen Bearing Pinger Periode 2003-2005

No	Tgl Off	Jam Off	Tgl On	Jam On	Waktu menit
1	07/01/2003	18.00	07/01/2003	18.40	40
2	25/01/2003	12.00	25/01/2003	12.38	38
3	20/02/2003	12.53	20/02/2003	13.33	40
4	12/03/2003	07.00	12/03/2003	07.35	35
5	06/04/2003	00.35	06/04/2003	01.10	35
6	11/05/2003	12.00	11/05/2003	12.45	45
7	17/06/2003	14.20	17/06/2003	14.55	35
8	04/07/2003	04.00	04/07/2003	04.38	38
9	30/07/2003	05.40	30/07/2003	06.15	35
10	12/09/2003	00.15	12/09/2003	00.55	40
11	08/10/2003	03.00	08/10/2003	03.40	40
12	20/11/2003	10.40	20/11/2003	11.15	35
13	04/12/2003	12.00	04/12/2003	12.40	40
14	12/01/2004	15.00	12/01/2004	15.35	35
15	03/02/2004	08.25	03/02/2004	09.00	35
16	23/02/2004	17.20	23/02/2004	17.55	35
17	20/03/2004	08.20	20/03/2004	09.00	40
18	15/04/2004	01.25	15/04/2004	02.03	38
19	04/05/2004	17.10	04/05/2004	17.45	35
20	18/05/2004	21.45	18/05/2004	22.20	35
21	07/06/2004	23.15	07/06/2004	23.55	40
22	03/07/2004	04.00	03/07/2004	04.38	38
23	12/07/2004	00.15	12/07/2004	00.50	35
24	18/08/2004	15.30	18/08/2004	16.10	40
25	19/09/2004	02.20	19/09/2004	02.55	35
26	26/10/2004	05.35	26/10/2004	06.10	35
27	08/12/2004	04.10	08/12/2004	04.45	35
28	02/01/2005	09.10	02/01/2005	09.50	40
29	22/01/2005	12.30	22/01/2005	13.05	35
30	10/02/2005	00.20	10/02/2005	00.55	35
31	08/03/2005	03.55	08/03/2005	04.35	40
32	14/04/2005	14.00	14/04/2005	14.38	38
33	04/05/2005	00.05	04/05/2005	00.35	30
34	31/05/2005	12.00	31/05/2005	12.35	35
35	15/06/2005	02.30	15/06/2005	03.10	40
36	04/07/2005	08.20	04/07/2005	09.00	40
37	05/08/2005	06.30	05/08/2005	07.10	40
38	14/09/2005	05.20	14/09/2005	05.55	35
39	28/09/2005	07.55	28/09/2005	08.30	35
40	01/11/2005	02.00	01/11/2005	02.35	35
41	14/12/2005	12.25	14/12/2005	16.05	40
Total Waktu Perbaikan					1525
Durasi Rata-rata Perbaikan					37.19

Namun begitu komponen *Bearing Pinger* yang memiliki rata-rata *down time* 37,19 menit dan frekuensi 41 kali yang paling memenuhi kriteria komponen yang akan diganti begitu kesempatan pertama datang. Hal ini dikarenakan komponen *Bearing Pinger* yang menyebabkan kumulatif waktu terhenti produksi paling besar.

Fungsi Distribusi Waktu Antar Kerusakan *bearing pinger*

Penentuan distribusi waktu antar kerusakan komponen *Bearing Pinger* ini dilakukan untuk melihat pola kerusakan pada komponen yang diteliti. Adapun dari pengolahan data didapatkan dugaan awal komponen *Bearing Pinger* terdistribusi weibull dua parameter dengan $\alpha = 709,6699$; $\beta = 3,374$; dan $MTTF = 634,005$ jam.

$$F_x(t) = 1 - e^{-\left[\left(\frac{t}{709,6699}\right)^\beta\right]}$$

Selanjutnya dari pengujian kecocokan distribusi menggunakan metode Kolmogorov Smirnov didapatkan $D_{hit\ max} = 0.1638$ dan $D_{tabel} = 0.2150$, dimana $D_{hit} < D_{tabel}$, sehingga hipotesis H_0 dapat diterima yaitu pola waktu antar kerusakan komponen *Bearing Pinger* terdistribusi Weibull dua parameter.

Fungsi Distribusi Waktu Antar Kerusakan dengan Kesempatan

Tahap ini dilakukan untuk menentukan pola waktu antar waktu kerusakan dengan kesempatan pertama yang datang selama periode penelitian. Dari pengolahan data didapatkan dugaan awal, waktu antar kerusakan dengan kesempatan terdistribusi eksponensial dengan $\mu = 27.016$ jam, $\lambda = 0.037$. $1 - e^{(-0.037t)}$

Setelah dilakukan pengujian kecocokan distribusi dengan menggunakan metode Kolmogorov Smirnov didapatkan $D_{hit\ max} = 0.1333$ dan $D_{tabel} = 0.2124$. Dari kedua nilai di atas dapat dilihat bahwa $D_{hit\ max} < D_{tabel}$ sehingga dapat ditarik kesimpulan waktu antar kerusakan dengan kesempatan terdistribusi eksponensial.

Interval Optimal Berdasarkan Kesempatan Terpilih

Dari hasil pengolahan data didapatkan biaya optimal penggantian perjam dengan memanfaatkan kesempatan adalah pada saat $t = 7$ jam, yaitu sebesar Rp. 1.635,003/jam. Setelah $t = 7$

jam biaya total penggantian perjam berdasarkan kesempatan naik secara bertahap.

Berdasarkan hasil pengolahan data di atas, dapat ditentukan penggantian komponen *Bearing Pinger* dengan menggunakan model *Opportunity Based-Age Replacement* yang menghasilkan biaya penggantian paling optimal adalah pada saat interval waktu 7 jam.

Karena penggantian yang dilakukan pada interval waktu kecil dari 7 jam akan menghasilkan biaya total penggantian lebih besar dari Rp.1.635,005/jam, begitu juga dengan penggantian yang dilakukan pada interval waktu besar dari 7 jam.

Perbandingan Kebijakan Penggantian Berdasarkan Kerusakan dengan Kebijakan Penggantian Berdasarkan Kesempatan.

Perbandingan kebijakan model penggantian komponen ini didasarkan pada faktor biaya total penggantian persiklus persatuan waktu yang dikeluarkan untuk masing-masing model *replacement*.

Dimana model penggantian terbaik adalah model yang memberikan biaya total penggantian terkecil. Dari pengolahan data didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Biaya total penggantian yang dikeluarkan PT. Coca Cola Bottling Indonesia-Central Sumatera dengan menggunakan model kebijakan :

$$g = \frac{Rp.3.134.992,00}{634,003\ jam} = Rp.4.944,76/ jam$$

2. Biaya total penggantian pada interval $t = 7$ jam dengan menggunakan model *Opportunity Based-Age Replacement* adalah:

$$g_{op}(7) = \frac{Rp.55.041,79}{33,66\ jam} = Rp.1.635,003/ jam$$

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari penelitian dan pengolahan data yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut:

1. Penggantian pencegahan komponen *Bearing Pinger* dengan memanfaatkan kesempatan memberikan biaya total penggantian yang lebih baik dari biaya total penggantian komponen *Bearing Pinger*

karena kegagalan. Hal ini menunjukkan penerapan kebijakan *Opportunity Based Age-Replacement* dapat menghindari kerugian yang lebih besar.

2. *Bearing Pinger* merupakan komponen terpilih untuk diganti pada saat kesempatan terpilih pertama datang, dimana komponen ini memiliki frekuensi *down time* 41 kali dan rata-rata *down time* 37,19 menit selama periode yang diteliti.
3. Waktu antar kerusakan komponen *Bearing Pinger* memiliki pola distribusi Weibull dua parameter sedangkan waktu antar kerusakan dengan kesempatan terdistribusi eksponensial.
4. Interval penggantian komponen *Bearing Pinger* yang memberikan biaya total penggantian minimum adalah pada saat $t = 7$ jam, yaitu sebesar Rp.1.635,003/jam.

Saran

1. PT. Coca Cola Bottling Indonesia-Central Sumatera sebaiknya melakukan penggantian komponen dengan memanfaatkan kesempatan *shut down* yang telah dijadwalkan.
2. Bagian maintenance sebaiknya melakukan evaluasi secara berkala terhadap pola kerusakan komponen-komponen dengan tingkat kerusakan cukup tinggi, agar dapat dibuat sebuah jadwal penggantian komponen dengan memanfaatkan kesempatan yang ada tanpa menyebabkan terhentinya produksi.

DAFTAR RUJUKAN

Assauri, Sofjan, (1993), **Manajemen Produksi dan Operasi**, Edisi 4 – Jakarta : Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.

Barlow, Richard E. dan Proschan, Frank, (1965), **Mathematical Theory Of Reliability**, John Wiley & Sons, Inc, Newyork.

Dekker, R., and Dijkstra, M. C., (1992), *Opportunity Based-Age Replacement: Exponentially Distributed Times Between Opportunities*, **Naval Research Logistics**, Vol.39, pp.175-190, Netherlands.

Gani, Anang Z., (1985), **Maintenance Management**, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Hogg, Robert V., and Ledolter, Johannes, (1987), **Applied Statistic For Engineers And Physical Scientist**, Second Edition, University Of IOWA.

Jardine A.K.S, (1973), **Maintenance, Replacement, and Reliability**, Pittman Publishing, USA..

O'Connor, Patrick D.T, (1995), **Practical Reliability Engineering**, Third Edition Revised, John Willey & Sons, New York.

Ramakmur. R, (1993), **Engineering Reliability; Fundamental and Applications**, Prentice Hall International, Eaglewood Clift, New Jersey.

Ruwanto, Bambang, M.Si, (2003), **Matematika untuk Fisika dan Teknik**, Adicita Karya Nusa, Yogyakarta.

Walpole, Ronald E., (1990), **Pengantar Statistika**, Edisi ke-3, (terjemahan), Gramedia, Jakarta.

Suharto, (1986), **Manajemen Perawatan Mesin**, Rineka Cipta, Jakarta.