

PROCEEDING

Seminar Nasional Industrial Services 2009

ANTISIPASI KRISIS GLOBAL DAN PENINGKATAN DAYA SAING

Fusidint PT. Krakatau Steel, 29 April 2009

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Supported by :



USULAN METODE PEMILIHAN <i>SUPPLIER</i> BAGI DEPARTEMEN <i>PROCUREMENT</i> DI PT “MMB” Gatot Yudoko, Fahmi Agustiansyah.....	II-10
USULAN STRATEGI OPERASI BAGI <i>SUPPLY & STEAM TEAM</i> PT “X” Gatot Yudoko, Ferry Martin	II-19
MODEL OPTIMISASI PERAWATAN PADA <i>MULTI KOMPONEN DEPENDENT</i> MENGUNAKAN <i>GROUP MAINTENANCE</i> Hendro Prassetiyo, Fifi Hemi M., Mega Hirarki A.	II-29
PENGENDALIAN PRODUKSI DENGAN METODE PERILISAN BERBASIS BEBAN PADA UNIT PRODUKSI PT X Hendro Prassetiyo, Emsosfi Z, Satria Januar	II-40
OPTIMALISASI JARINGAN KERJA (NETWORK) PADA PRODUKSI MINUMAN NATA DE COCO KEMASAN KALENG DENGAN METODE PERT (Studi Kasus PT. X, Natar, Lampung Selatan) Arinal Hamni, Tomi Z.	II-52
RANCANG BANGUN GENTENG TANAH LIAT DENGAN MENGGUNAKAN <i>VALUE</i> <i>ENGINEERING</i> Dyah Retno P., Dwi Iryaning Handayani	II-60
USULAN PERBAIKAN PENANGANAN MATERIAL MENGGUNAKAN <i>MILK-RUN SYSTEM</i> Erna Mulyati	II-69
EFISIENSI <i>TOUR SCHEDULING</i> DENGAN KARYAWAN <i>PART TIME</i> Evy Herowati	II-79
OPTIMASI PARAMETER PROSES PRODUKSI <i>CENTRIFUGAL CASTING</i> UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PRODUK DAN EFISIENSI BIAYA PADA PROSES PRODUKSI <i>CYLINDER LINER</i> DI PT ANEKA BANUSAKTI, GEMPOL, PASURUAN Evy Herowati	II-90
PERBAIKAN <i>LAYOUT WAREHOUSE</i> DISTRIBUTOR PERALATAN TEKNIK DI SURABAYA Indri Hapsari, Jerry Agus A., Irma Devina.....	II-99
PERBAIKAN TATA LETAK GUDANG BENANG DAN KAIN DI PT. X SURABAYA Indri Hapsari, Jerry Agus A., Andy Chandra	II-106
MODEL PENJADWALAN DAN PENENTUAN UKURAN LOT UNTUK SISTEM MANUFAKTUR FABRIKASI DAN PERAKITAN DENGAN KRITERIA MINIMASI <i>MAKESPAN</i> Martino Luis, Emsosfi Zaeni, Citra Fitri Sundari.....	II-116

MODEL OPTIMISASI PERAWATAN PADA MULTI KOMPONEN DEPENDENT MENGUNAKAN GROUP MAINTENANCE

Hendro Prassetiyo, Fifi Herni M, Mega Hiraki A

Jurusan Teknik dan Manajemen Industri

Institut Teknologi Nasional - Bandung

JL PHH Mustafa No. 23 Bandung

Email: hprassetiyo@itenas.ac.id , hprassetiyo@yahoo.com

Abstrak

Suatu mesin produksi pada umumnya terdiri dari beberapa komponen atau disebut multi komponen, yang dapat saling berhubungan satu dengan yang lain (*dependent*) atau tidak saling berhubungan (*independent*). Untuk komponen yang bersifat *dependent*, keandalan suatu komponen sangat mempengaruhi keandalan komponen lainnya. Kerusakan suatu komponen dapat mengakibatkan penurunan kinerja mesin yang menyebabkan dihasilkannya produk cacat. Oleh karena itu untuk menjaga kondisi komponen tetap baik dan menghindari terjadinya penurunan kinerja mesin, dibutuhkan kegiatan perawatan atau *maintenance* yang terencana. Tindakan perawatan yang dapat dilakukan pada mesin yang terdiri dari multi komponen *dependent* salah satunya adalah dengan melakukan kebijakan *group maintenance*, yaitu perawatan beberapa komponen mesin pada saat bersamaan jika terjadi kerusakan pada salah satu komponennya.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan suatu model optimisasi perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan kebijakan *group maintenance* dengan mempertimbangkan 3 tindakan perawatan, yaitu *do nothing (DN)*, *repair (RP)*, dan *replace (R)*. Pengembangan model dilakukan dengan menentukan tindakan perawatan optimal yang dilakukan di setiap titik inspeksi. Metode solusi yang digunakan adalah model pemrograman dinamis dengan kriteria minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan.

Kata kunci: multi komponen, *dependent*, *group maintenance*, pemrograman dinamis

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dan industri manufaktur menyebabkan perusahaan berusaha meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Hal ini dilakukan pihak perusahaan agar produk yang dihasilkan mampu bersaing di pasar. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kualitas produk adalah kinerja mesin produksi. Kondisi penggunaan mesin produksi ini harus terus dipelihara karena apabila kondisinya menurun, dapat menyebabkan produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan dan ongkos produksi menjadi tinggi.

Suatu mesin produksi pada umumnya terdiri dari beberapa komponen atau disebut multi komponen. Sifat komponen-komponen pada mesin produksi ini dibagi menjadi dua, yaitu komponen yang bersifat *dependent* dan komponen yang bersifat *independent*. Komponen *dependent* merupakan komponen yang saling berhubungan sehingga kerusakan suatu komponen dapat disebabkan oleh kondisi komponen yang lainnya, sedangkan komponen *independent* adalah komponen yang tidak saling berhubungan satu sama lain. Kerusakan komponen dapat mengakibatkan kinerja mesin menurun (*deteriorasi*) yaitu ketidaksempurnaan pada kinerja mesin, dan mengakibatkan proses produksi mengalami pergeseran dari *in control* menjadi *out of control* sehingga mesin menghasilkan sejumlah produk cacat yang tidak memenuhi kualitas. Apabila komponen tidak diperbaiki atau diganti maka dapat menyebabkan mesin rusak. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka dibutuhkan kegiatan perawatan seperti pemeriksaan, perbaikan, dan penggantian terhadap komponen-komponen mesin yang rusak.

Perawatan merupakan kegiatan memelihara, menjaga kondisi mesin produksi dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan. Perawatan merupakan salah satu cara yang memberikan

kontribusi signifikan terhadap usaha mempertahankan kinerja mesin dan pencegahan biaya operasi. Pada dasarnya, perawatan dapat dilakukan sebelum (*preventive maintenance*) atau setelah (*corrective maintenance*) terjadinya kerusakan. Apabila perawatan dilakukan secara berlebihan akan menyebabkan ongkos-ongkos produksi bertambah terutama apabila komponen yang digunakan multi komponen. Oleh karena itu, untuk meminimasi total ongkos perawatan pencegahan pada multi komponen *dependent* dapat dilakukan kebijakan *group replacement* yaitu, apabila salah satu komponen mengalami kerusakan maka tidak hanya komponen yang rusak saja yang diganti tetapi komponen lain yang tidak rusak atau hampir rusak juga dapat diganti pada saat yang bersamaan. *Group replacement* ini dilakukan karena ongkos yang dikeluarkan dengan mengganti satu per satu komponen dengan waktu yang tidak bersamaan akan semakin besar bila dibandingkan penggantian lebih dari satu komponen pada saat yang bersamaan (Jardine, 1973).

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya, yang diawali oleh sebuah model minimisasi total ongkos perawatan dengan mempertimbangkan perubahan nilai uang terhadap waktu yang dikembangkan oleh Usher, Kamal dan Syed (1998), dimana dalam penelitiannya tersebut komponennya bersifat *reparable* dan merupakan *single* komponen. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Yudistyawati (2007) yang mengembangkan model optimisasi perawatan pencegahan multi komponen *independent* dengan menggunakan kebijakan *group replacement* dengan kriteria minimisasi total ongkos. Pada kenyataannya, kebanyakan perusahaan industri menggunakan mesin-mesin produksi dimana mesin-mesin tersebut memiliki komponen-komponen yang bersifat *dependent* atau saling berhubungan.

Penelitian ini akan membahas persoalan pengambilan keputusan terhadap penurunan kemampuan kerja (*deteriorasi*) akibat kerusakan komponen. Hubungan antar komponen yang digunakan dalam penelitian bersifat *dependent* atau saling berhubungan dan *reparable*, yaitu komponen dapat diperbaiki lagi apabila mengalami kerusakan pada saat mengalami proses operasi. Penjadwalan perawatan dilakukan secara berkala dalam horizon waktu terbatas dengan pembagian titik-titik inspeksi. Pada titik inspeksi terdapat tiga alternatif tindakan perawatan atau keputusan yang dapat dilakukan terhadap ketiga komponen, yaitu *do nothing* (DN), *repair* (RP), dan *replace* (R). *Do nothing* merupakan tindakan dengan mempertahankan penggunaan komponen yang lama karena komponen tersebut masih berada dalam keadaan yang baik atau tidak mengalami kerusakan yang berarti, sedangkan *repair* (RP) merupakan tindakan perbaikan terhadap komponen yang rusak, dan *replace* (R) adalah tindakan penggantian komponen-komponen yang rusak dengan komponen yang baru.

2. Pendekatan Pengembangan Model

Pengembangan model yang bertujuan untuk menghasilkan model optimisasi perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan *group maintenance* dengan kriteria minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan ini didasari oleh model:

1. Usher, kamal dan Syed (1998)
2. Yudistyawati (2007)
3. *Star Structure* (Ramakumar, 1993)
4. *Group replacement* (Jardine, 1973)

Berdasarkan model diatas, posisi penelitian mengenai model optimisasi perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan *group maintenance* yang dikembangkan dapat dilihat pada Tabel 1.

kontribusi signifikan terhadap usaha mempertahankan kinerja mesin dan pencegahan biaya operasi. Pada dasarnya, perawatan dapat dilakukan sebelum (*preventive maintenance*) atau setelah (*corrective maintenance*) terjadinya kerusakan. Apabila perawatan dilakukan secara berlebihan akan menyebabkan ongkos-ongkos produksi bertambah terutama apabila komponen yang digunakan multi komponen. Oleh karena itu, untuk meminimasi total ongkos perawatan pencegahan pada multi komponen *dependent* dapat dilakukan kebijakan *group replacement* yaitu, apabila salah satu komponen mengalami kerusakan maka tidak hanya komponen yang rusak saja yang diganti tetapi komponen lain yang tidak rusak atau hampir rusak juga dapat diganti pada saat yang bersamaan. *Group replacement* ini dilakukan karena ongkos yang dikeluarkan dengan mengganti satu per satu komponen dengan waktu yang tidak bersamaan akan semakin besar bila dibandingkan penggantian lebih dari satu komponen pada saat yang bersamaan (Jardine, 1973).

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya, yang diawali oleh sebuah model minimisasi total ongkos perawatan dengan mempertimbangkan perubahan nilai uang terhadap waktu yang dikembangkan oleh Usher, Kamal dan Syed (1998), dimana dalam penelitiannya tersebut komponennya bersifat *reparable* dan merupakan *single* komponen. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Yudistyawati (2007) yang mengembangkan model optimisasi perawatan pencegahan multi komponen *independent* dengan menggunakan kebijakan *group replacement* dengan kriteria minimisasi total ongkos. Pada kenyataannya, kebanyakan perusahaan industri menggunakan mesin-mesin produksi dimana mesin-mesin tersebut memiliki komponen-komponen yang bersifat *dependent* atau saling berhubungan.

Penelitian ini akan membahas persoalan pengambilan keputusan terhadap penurunan kemampuan kerja (*deteriorasi*) akibat kerusakan komponen. Hubungan antar komponen yang digunakan dalam penelitian bersifat *dependent* atau saling berhubungan dan *reparable*, yaitu komponen dapat diperbaiki lagi apabila mengalami kerusakan pada saat mengalami proses operasi. Penjadwalan perawatan dilakukan secara berkala dalam horizon waktu terbatas dengan pembagian titik-titik inspeksi. Pada titik inspeksi terdapat tiga alternatif tindakan perawatan atau keputusan yang dapat dilakukan terhadap ketiga komponen, yaitu *do nothing* (DN), *repair* (RP), dan *replace* (R). *Do nothing* merupakan tindakan dengan mempertahankan penggunaan komponen yang lama karena komponen tersebut masih berada dalam keadaan yang baik atau tidak mengalami kerusakan yang berarti, sedangkan *repair* (RP) merupakan tindakan perbaikan terhadap komponen yang rusak, dan *replace* (R) adalah tindakan penggantian komponen-komponen yang rusak dengan komponen yang baru.

2. Pendekatan Pengembangan Model

Pengembangan model yang bertujuan untuk menghasilkan model optimisasi perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan *group maintenance* dengan kriteria minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan ini didasari oleh model:

1. Usher, kamal dan Syed (1998)
2. Yudistyawati (2007)
3. *Star Structure* (Ramakumar, 1993)
4. *Group replacement* (Jardine, 1973)

Berdasarkan model diatas, posisi penelitian mengenai model optimisasi perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan *group maintenance* yang dikembangkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Posisi Penelitian

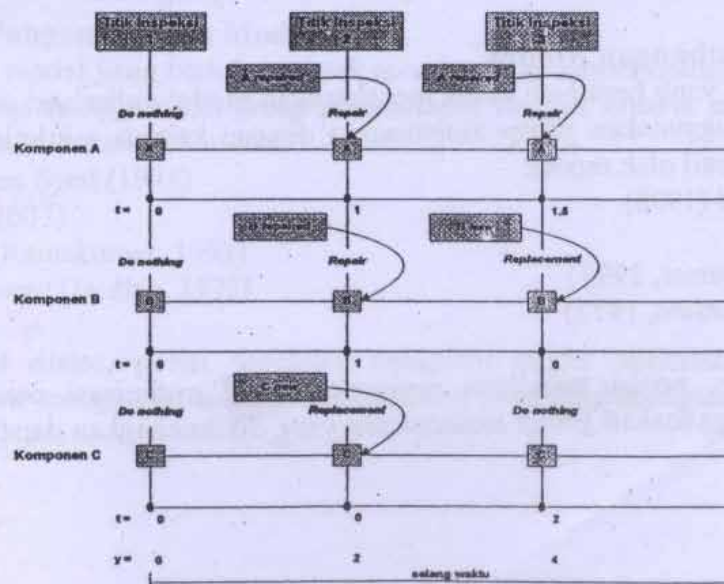
Keterangan	Usher, Kamal dan Syed (1998)	Yudistyawati (2007)	Penelitian yang dilakukan
Komponen	Single komponen	Multi komponen <i>independent</i>	Multi komponen <i>dependent</i> , (Ramakumar, 1993)
Karakteristik komponen	<i>Reparable</i>	<i>Nonreparable</i>	<i>reparable</i>
Kebijakan perawatan	<i>Preventive maintenance</i>	<i>Group replacement</i>	<i>Group maintenance</i>
Metode solusi	<i>Random search, algoritma genetik, branch and bound</i>	Pemrograman dinamis probabilistik	Pemrograman dinamis probabilistik
Variabel keputusan	<i>Do nothing, maintenance, dan Replacement</i> (3 VK)	<i>Do Nothing dan Replacement</i> (2 VK)	<i>Do nothing, Repair, dan Replace</i> (3 VK)

Proses pengembangan model dalam penelitian ini dilakukan dalam tiga langkah, yaitu:

1. Langkah pertama, menentukan horizon waktu terbatas dan membaginya menjadi titik-titik inspeksi berdasarkan pendekatan Usher, Kamal, dan Syed (1998).
2. Langkah kedua, yaitu identifikasi variabel berdasarkan gambaran model yang dikembangkan. Identifikasi variabel ini mampu memberikan gambaran perilaku sistem perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan *group maintenance*.
3. Langkah ketiga, yaitu formulasi model untuk menghitung ekspektasi total ongkos perawatan multi komponen *dependent* berdasarkan alternatif tindakan perawatan dengan kebijakan *group maintenance* dengan menggunakan model pemrograman dinamis probabilistik.

3. Karakteristik Sistem Pengembangan Model

Dalam penelitian ini, sistem yang dibahas adalah sistem perawatan multi komponen *dependent*. Diasumsikan sistem atau mesin terdiri dari 3 buah komponen, yaitu komponen A, komponen B, dan komponen C. Ketiga komponen ini berada dalam hubungan multi komponen yang bersifat *dependent* dalam suatu rangkaian *star structure* (Ramakumar, 1993). Kerusakan pada suatu komponen dapat menyebabkan kinerja mesin atau sistem menurun. Keandalan masing-masing komponen akan mempengaruhi kinerja mesin atau sistem yang digunakan. Jumlah mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak satu buah mesin produksi. Gambar 1 menjelaskan Sistem Perawatan Pada Multi Komponen *dependent* dengan kebijakan *group maintenance*.



Gambar 1. Sistem Perawatan Pada Multi Komponen *Dependent* dengan *Group Maintenance*

Dari Gambar 1, dapat dilihat bahwa komponen A, B, dan C saling berhubungan untuk menunjang kinerja suatu mesin. Dari setiap aktifitas proses pemesinan yang dilakukan, terdapat kemungkinan bahwa komponen akan mengalami kerusakan atau kegagalan sehingga dapat mengakibatkan produk yang dihasilkan cacat. Laju kerusakan komponen A, B, dan C dalam suatu selang waktu tertentu disebut dengan *failure rate*. Pada penelitian ini, selang waktu (s) antar titik inspeksi adalah 2 periode. Pada titik inspeksi 1 ($n = 1$) dilakukan tindakan *do nothing* pada setiap komponen, karena pada $n = 1$ umur komponen (y) sama dengan 0 dan komponen diasumsikan dalam keadaan baik dan *brand as new*. Pada titik inspeksi 2 ($n = 2$) dan titik inspeksi 3 ($n = 3$) terdapat 27 alternatif tindakan perawatan yang dapat dilakukan untuk memperoleh solusi yang optimal.

Kerusakan ketiga komponen A, B dan C dapat terjadi sewaktu-waktu dan tidak dapat diduga kapan terjadinya. Kerusakan pada salah satu komponen dapat menyebabkan komponen lainnya ikut rusak. Apabila terjadi kerusakan komponen sebelum titik inspeksi, tindakan perawatan akan tetap dilakukan pada titik inspeksinya. Misalnya, kerusakan komponen B terjadi setelah melewati titik inspeksi 1 ($n = 1$), maka kerusakan tersebut akan dilakukan tindakan perawatan pada titik inspeksi 2 ($n = 2$).

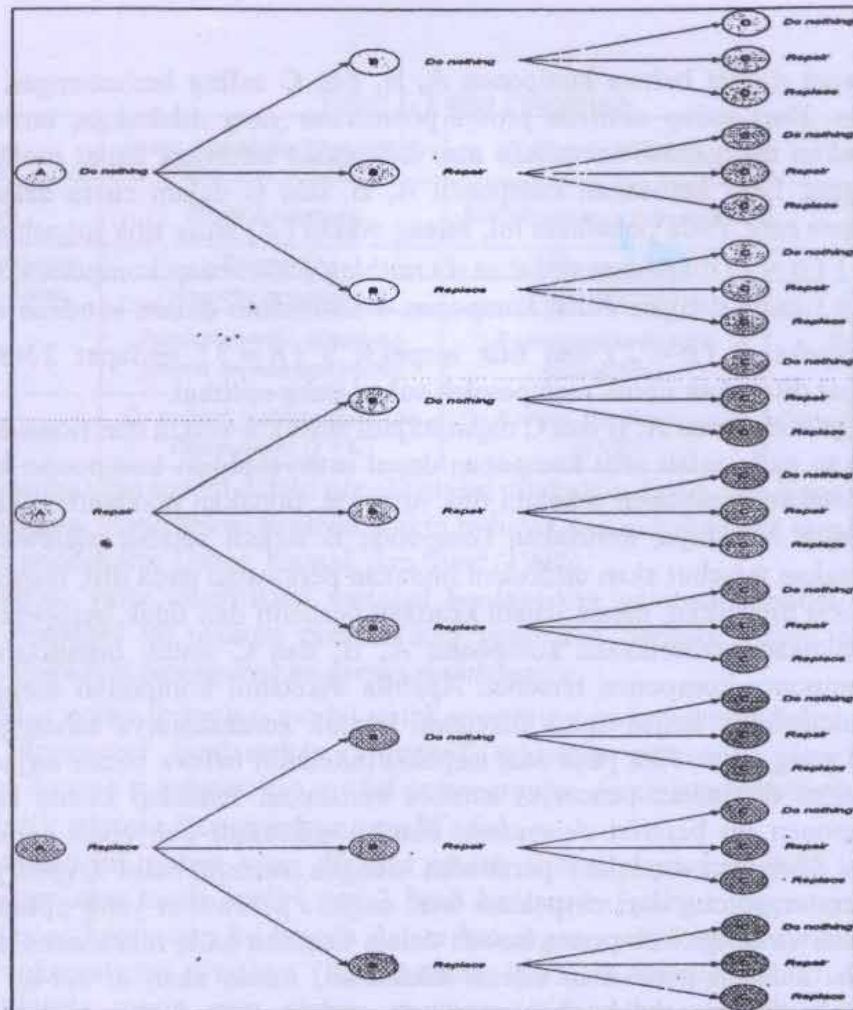
Pada saat inspeksi dilakukan, mesin dalam keadaan berhenti dan tidak beroperasi (*off*), kemudian operator akan melakukan pemeriksaan komponen A, B, dan C untuk mengetahui apakah terjadi kerusakan pada komponen-komponen tersebut. Apabila diketahui komponen mengalami kerusakan, pemeriksaan dilakukan lebih lanjut untuk diketahui bentuk kerusakannya sehingga dapat diberikan tindakan perawatan yang tepat. Jika pada saat inspeksi diketahui bahwa sudah terjadi kerusakan pada suatu komponen, akan dilakukan pencarian sumber kerusakan terhadap kedua komponen lainnya, karena ketiga komponen ini bersifat *dependent*. Setelah diketahui penyebab kerusakan komponen, maka akan segera dilakukan tindakan perawatan dengan memperbaiki (*repair*) atau mengganti (*replace*) komponen, tergantung dari ekspektasi total ongkos perawatan yang optimal. Jika pada saat inspeksi diketahui bahwa ketiga komponen berada dalam keadaan baik, maka akan dilakukan tindakan *do nothing*. Setelah tindakan perawatan selesai dilakukan, mesin akan di *set-up* dan dioperasikan kembali (*on*) sampai ke titik inspeksi berikutnya.

Pada penelitian ini terdapat tiga alternatif tindakan perawatan yang dapat dilakukan pada komponen A, B, dan C, yaitu *do nothing*, *repair* dan *replace*. Kemungkinan kebijakan perawatan pada komponen A, B, dan C dapat dilihat pada Gambar 2.

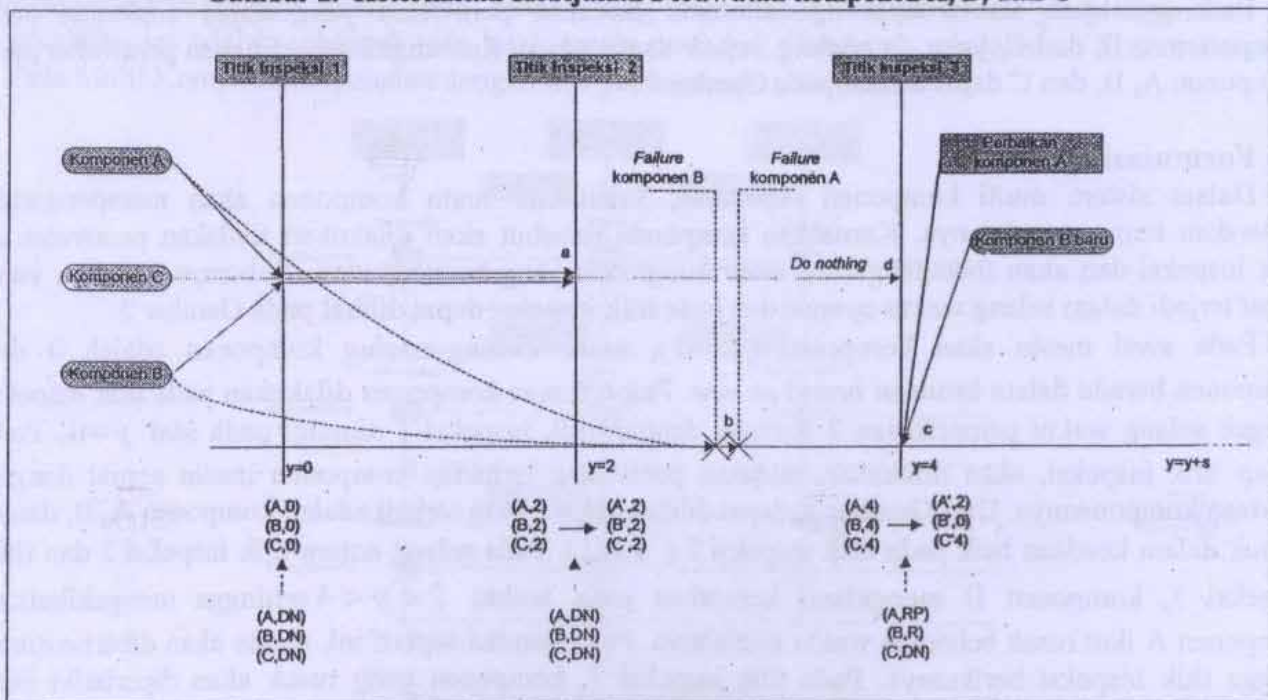
4. Formulasi Model

Dalam sistem multi komponen *dependent*, kerusakan suatu komponen akan mempengaruhi kerusakan komponen lainnya. Kerusakan komponen tersebut akan dilakukan tindakan perawatan di titik inspeksi dan akan mempengaruhi umur komponen yang bersangkutan. Beberapa kejadian yang dapat terjadi dalam selang waktu operasi dan pada titik inspeksi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada awal mesin akan beroperasi ($y=0$), umur masing-masing komponen adalah 0 dan komponen berada dalam keadaan *brand as new*. Pemeriksaan komponen dilakukan pada titik inspeksi dengan selang waktu pemeriksaan 2 periode, dengan titik inspeksi 1 dimulai pada saat $y=0$. Pada setiap titik inspeksi, akan dilakukan tindakan perawatan terhadap komponen mesin sesuai dengan keadaan komponennya. Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa yang terjadi adalah komponen A, B, dan C masuk dalam keadaan baik pada titik inspeksi 2 ($y = 2$). Pada selang antara titik inspeksi 2 dan titik inspeksi 3, komponen B mengalami kerusakan pada waktu $2 < y < 4$ sehingga mengakibatkan komponen A ikut rusak beberapa waktu setelahnya. Pada kondisi seperti ini, mesin akan diberhentikan hingga titik inspeksi berikutnya. Pada titik inspeksi 3, komponen yang rusak akan diperbaiki atau diganti dengan yang baru. Setelah inspeksi selesai dilakukan, mesin akan dinyalakan kembali hingga kejadian atau titik inspeksi berikutnya.



Gambar 2. Keterkaitan Kebijakan Perawatan komponen A, B, dan C



Gambar 3. Tindakan di Titik Inspeksi

Dalam tindakan perawatan pada Gambar 3, terdapat beberapa kejadian yang perlu diperhatikan pada tindakan di setiap titik inspeksi, yaitu:

1. Deskripsi umur (t)
 - ▶ Pada sistem terdapat 2 macam umur, yaitu umur sebelum titik inspeksi dan umur setelah titik inspeksi dan tindakan perawatan dilakukan.
 - ▶ Umur komponen sebelum titik inspeksi 2 adalah $(A,2)$, $(B,2)$, dan $(C,2)$ dan setelah dilakukan tindakan di titik inspeksi tetap menjadi $(A',2)$, $(B',2)$, dan $(C',2)$ karena komponen masih dalam keadaan baik dan tindakan yang dilakukan adalah *do nothing*.
 - ▶ Umur komponen sebelum titik inspeksi 3 adalah $(A,4)$, $(B,4)$, dan $(C,4)$ dan setelah dilakukan tindakan di titik inspeksi berubah menjadi $(A,2)$, $(B,0)$, dan $(C,4)$. Hal ini dikarenakan komponen A mendapat keputusan *repair*, dimana keputusan *repair* akan menyebabkan umur komponen mengalami peremajaan dengan *improvement factor* (γ) sebesar 50% sehingga ketika umur sebelum titik inspeksi adalah 4 akan berubah menjadi 2. Komponen B yang rusak mendapatkan tindakan *replace* sehingga umur komponen berubah menjadi 0.
2. Kejadian a
Kejadian a merupakan kelanjutan proses dari selang waktu $y=0$ ke $y=2$ dan merupakan kejadian awal dari jalannya operasi sehingga komponen A, B, dan C memiliki 3 kemungkinan keputusan di titik inspeksi.
3. Kejadian b
Pada kejadian b, terjadi kerusakan komponen pada selang waktu $y=2$ ke $y=4$, yang diawali oleh kerusakan komponen B yang menyebabkan komponen A ikut rusak beberapa waktu setelahnya. Pada kondisi ini, mesin akan segera diberhentikan sampai ke titik inspeksi berikutnya.
4. Kejadian c
Kejadian c terjadi di titik inspeksi 3, yaitu komponen B mengalami tindakan *replace* dengan mengganti komponen B yang rusak dengan komponen B yang baru sedangkan komponen A mengalami perbaikan komponen dan setelah inspeksi selesai dilakukan mesin akan dinyalakan kembali sampai kejadian atau titik inspeksi berikutnya.
5. Kejadian d
Kejadian d merupakan kejadian yang terjadi pada komponen C yang hingga titik inspeksi 3 masih berada dalam keadaan baik sehingga mengalami tindakan *do nothing*.

Pada penelitian ini, penentuan optimisasi perawatan ditentukan dengan menggunakan metode pemrograman dinamis probabilistik dengan kriteria minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan yang diformulasikan sebagai berikut:

- ▶ Fungsi Tujuan ($f_n(S_n, X_n)$)
Fungsi tujuan penelitian ini adalah minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan pada multi komponen *dependent* menggunakan *group maintenance* berdasarkan keputusan terbaik yang diambil di tahap- n ditambah ongkos dari keputusan terbaik dari periode sesudahnya $(n+1)$, bila mempunyai status S_n dan variabel keputusan X_n .
- ▶ Tahap (n)
Tahap (n) dalam penelitian ini merupakan titik inspeksi ke- n yang dilakukan setiap selang waktu (s) 2 periode selama 6 periode perencanaan sebagai titik pengambilan keputusan atau tindakan, sehingga terdapat 3 titik inspeksi, yaitu $n=1, 2$, dan 3 pada $y=0, 2$, dan 4.
- ▶ Status (S_n)

Status dalam penelitian ini adalah umur komponen. Status pada awal periode dinyatakan dengan $S_n(i,t)$, dimana i menyatakan jenis komponen, yaitu $i=A, B, C$ dan t menyatakan umur komponen i tersebut, yaitu $t=0, 1, 1.5, 2, \dots$

► Variabel Keputusan (X_n)

Variabel keputusan dalam penelitian ini adalah keputusan tindakan perawatan yang terdiri dari 3 tindakan, yaitu:

1. *Do nothing* (DN) ; yaitu mempertahankan penggunaan komponen yang lama.
2. *Repair* (RP) ; yaitu memperbaiki komponen yang rusak.
3. *Replace* (R) ; yaitu mengganti komponen yang rusak dengan yang baru.

Variabel keputusan di setiap periode pada tahap- n dinotasikan dengan $X_n(i,k)$, dimana i menyatakan jenis komponen, yaitu $i=A, B, C$ dan k menyatakan keputusan tindakan perawatan yang dilakukan, yaitu $k=DN, RP, R$.

4.1 Pemodelan Fungsi Keandalan Komponen

Pada penelitian ini, ketiga komponen berada dalam hubungan multi komponen yang bersifat *dependent* dalam suatu rangkaian *star structure* (Ramakumar, 1993), yang mengakibatkan keandalan masing-masing komponen saling berhubungan. Pemodelan keandalan masing-masing komponen dalam sistem tersebut diperoleh dengan persamaan berikut:

$$R_{As} = \sqrt{\frac{(R_A \cdot R_B) \cdot (R_C \cdot R_A)}{R_B \cdot R_C}} \quad (1)$$

$$R_{Bs} = \sqrt{\frac{(R_A \cdot R_B) \cdot (R_B \cdot R_C)}{R_A \cdot R_C}} \quad (2)$$

$$R_{Cs} = \sqrt{\frac{(R_B \cdot R_C) \cdot (R_C \cdot R_A)}{R_A \cdot R_B}} \quad (3)$$

Dimana,

$$R_A R_B = 1 - (1 - R_{AB})(1 - R_{BC} R_{CA})$$

$$R_B R_C = 1 - (1 - R_{BC})(1 - R_{CA} R_{AB})$$

$$R_C R_A = 1 - (1 - R_{CA})(1 - R_{AB} R_{BC})$$

4.2 Ongkos-Ongkos Dalam Perawatan

Perawatan yang dilakukan untuk menghindari deteriorasi pada suatu sistem produksi akan mengeluarkan berbagai macam ongkos produksi, baik itu yang disebabkan oleh perawatan terencana ataupun perawatan tidak terencana yang dilakukan apabila terjadi kerusakan tiba-tiba. Elemen-elemen ongkos yang berpengaruh terhadap sistem perawatan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ongkos Inspeksi (C_1)

Merupakan ongkos yang dikeluarkan untuk memeriksa apakah terjadi kerusakan pada mesin. Pada kegiatan pemeriksaan ini, mesin dibuka dan dibongkar agar dapat dilakukan pemeriksaan terhadap komponen-komponen penyusunnya.

2. Ongkos *Searching* (C_2)

Merupakan ongkos pencarian sistem yang rusak di titik inspeksi. Pencarian kerusakan dilakukan dengan pembongkaran mesin hingga ke komponennya agar dapat diketahui dengan jelas kerusakannya.

3. Ongkos Keputusan

Merupakan ongkos yang dikeluarkan sesuai dengan keputusan yang dilakukan di titik inspeksi yang terdiri dari 3 macam, yaitu:

- a. Ongkos *Do nothing* (C_3).
- b. Ongkos *Repair* (C_4)
- c. Ongkos *Replace* (C_5)

4. Ongkos *Reject* (C_6)

Merupakan ongkos yang timbul dikarenakan adanya produksi yang gagal yang tidak dapat diperbaiki.

5. Ongkos kerugian akibat produk cacat

Merupakan ongkos yang dikeluarkan akibat adanya produk yang tidak sesuai dengan yang diharapkan dan besarnya ongkos tergantung dari tindakan yang dilakukan pada titik inspeksi dengan memperhitungkan ongkos *reject*, yaitu:

- a. Untuk keputusan *Do nothing* (C_7)

$$C_7 = \int_t^{t+s} r(t) dt \times C_6 \quad (4)$$

- b. Untuk keputusan *Repair* (C_8)

$$C_8 = \int_{t,y}^{(t,y)+s} r(t) dt \times C_6 \quad (5)$$

- c. Untuk keputusan *Replace* (C_9)

$$C_9 = \int_0^s r(t) dt \times C_6 \quad (6)$$

4.3 Formulasi Model Pemrograman Dinamis Probabilistik

Formulasi model untuk menghitung ekspektasi total ongkos pada suatu tahap n untuk komponen i dengan status S_n dan variabel keputusan X_n diperoleh dengan meminimumkan $(f_n(S_n, X_n))$ sebagai berikut:

$$f_n(S_n, X_n) = \sum_{i=1}^I \left[\begin{array}{l} \text{Do nothing} \text{ --- } \left[\begin{array}{l} (R(t))x \text{ (ongkos inspeksi + ongkos do nothing)+} \\ (1-R(t))x \text{ (ongkos searching + ongkos kerugian produk cacat)+} \\ f_{n+1}(i, t+s) \end{array} \right] \\ \text{Repair} \text{ --- } \left[\begin{array}{l} (R(t))x \text{ (ongkos inspeksi + ongkos repair)+} \\ (1-R(t))x \text{ (ongkos searching + ongkos kerugian produk cacat)+} \\ f_{n+1}(i, (t, \gamma) + s) \end{array} \right] \\ \text{Replace} \text{ --- } \left[\begin{array}{l} (R(t))x \text{ (ongkos inspeksi + ongkos replace)+} \\ (1-R(t))x \text{ (ongkos searching + ongkos kerugian produk cacat)+} \\ f_{n+1}(i, s) \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (7)$$

Apabila dinyatakan dengan notasi, persamaan rekursifnya menjadi:

$$f_n(S_n, X_n) = \sum_{i=1}^I \left[\begin{array}{l} \text{Do nothing} \text{ --- } [(R(t), x(C_1 + C_3)) + ((1 - R(t), x(C_2 + C_7)) + f_{n+1}(i, t + s))] \\ \text{Repair} \text{ --- } [(R(t), x(C_1 + C_4)) + ((1 - R(t), x(C_2 + C_8)) + f_{n+1}(i, (t, \gamma) + s))] \\ \text{Replace} \text{ --- } [(R(t), x(C_1 + C_5)) + ((1 - R(t), x(C_2 + C_9)) + f_{n+1}(i, s))] \end{array} \right] \quad (8)$$

Penentuan minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan dengan menggunakan model pemrograman dinamis probabilistik dilakukan dengan teknik perhitungan *backward* atau *backward procedure*.

5. Pengujian Model

Untuk melakukan pengujian model maka diperlukan nilai-nilai parameter yang dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Nilai Parameter Pengujian Model

Notasi	Nilai	Notasi	Nilai	Notasi	Nilai
N	4	α_C	6	C4	45
t	6	β_A	3	C5	100
s	2	β_B	3	C1	35
α_C	4	β_C	3	C2	50
α_C	3	C3	0	C6	60

Pada permasalahan ini, terdapat 3 tahap titik inspeksi ($n=1,2,3$), karena teknik perhitungan yang digunakan adalah *backward procedure* maka perhitungan dimulai pada tahap terakhir. Hasil perhitungan menggunakan model pemrograman dinamis probabilistik dapat dilihat pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 6.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Ongkos total pada (n=3)

S3	A(DN),B(DN),C(DN)	A(DN),B(DN),C(B)	A(R),B(B),C(DN)	A(R),B(B),C(B)	A(R),B(B),C(B)	ZPSS	
(A,2),(B,2),(C,2)	622.406	627.114	268.986	296.777	394.052	268.986	16
(A,2),(B,2),(C,3)	652.578	638.709	296.722	300.084	394.052	296.722	16
(A,2),(B,2),(C,4)	683.876	651.165	349.298	305.523	394.052	305.523	17
.
.
.
(A,3),(B,2),(C,2)	779.209	785.663	295.565	318.038	394.052	295.565	16
(A,3),(B,2),(C,3)	799.599	796.260	327.393	323.304	394.052	319.430	25
(A,3),(B,2),(C,4)	814.270	806.481	381.650	330.930	394.052	330.930	17
(A,3),(B,3),(C,2)	1080.875	1094.034	295.565	318.038	394.052	295.565	16
(A,3),(B,3),(C,3)	1089.771	1101.818	327.393	323.304	394.052	319.430	25
.
.
.
(A,4),(B,2),(C,2)	998.470	1006.126	348.907	366.346	394.052	301.856	25
(A,4),(B,2),(C,3)	1013.512	1016.393	383.664	373.661	394.052	319.430	25
(A,4),(B,2),(C,4)	1019.782	1025.465	436.945	383.365	394.052	340.708	26
.
.
.
(A,4),(B,4),(C,3)	1623.713	1642.225	383.664	373.661	394.052	319.430	25
(A,4),(B,4),(C,4)	1619.183	1647.088	436.945	383.365	394.052	340.708	26

Tabel 4. Hasil Perhitungan Ongkos total pada ($n=2$)

X_i	1	2	3	4	5	6	7	8
S_i	A(DN),B(DN),C(DN)	A(DN),B(DN),C(RP)	...	A(RP),B(RP),C(DN)	A(RP),B(RP),C(RP)	...	A(R),B(R),C(R)	TINS
(A,2),(B,2),(C,2)	963.115	946.544	...	599.917	616.207	...	663.038	599.917
								16

Tabel 5. Hasil Perhitungan Ongkos total pada ($n=1$)

X_i	1	2	3
S_i	A(DN),B(DN),C(DN)	TINS	X_i^*
(A,0),(B,0),(C,0)	709.447	709.447	1

Tabel 6. Solusi Optimal di Setiap Titik Inspeksi

TITIK INSPEKSI 1	TITIK INSPEKSI 2	TITIK INSPEKSI 3
A: Do Nothing (DN)	A: Repair (RP)	A: Repair (RP)
B: Do Nothing (DN)	B: Replace (R)	B: Replace (R)
B: Do Nothing (DN)	C: Do Nothing (DN)	C: Repair (RP)

6. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan model optimisasi perawatan pencegahan pada multi komponen *dependent* menggunakan kebijakan *group maintenance* dengan mempertimbangkan 3 tindakan perawatan, yaitu *do nothing* (DN), *repair* (RP), dan *replace* (R). Hubungan antar komponen dalam penelitian ini bersifat *dependent* dalam suatu rangkaian *star structure*. Pengembangan model dilakukan dengan menentukan tindakan perawatan optimal yang dilakukan di setiap titik inspeksi. Untuk meminimasi total ongkos perawatan pencegahan, kebijakan perawatan yang digunakan adalah *group replacement*, dengan metode solusi yang digunakan adalah model pemrograman dinamis dengan kriteria minimisasi ekspektasi total ongkos perawatan.

7. Daftar Pustaka

- Ebeling, C.E, 1997, *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*, Mc Graw-Hill Inc., Singapore.
- Jardine, A.K.S, 1973, *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Dept of Engineering Production University of Birmingham. Pitman Publishing
- Lieberman, Gerald J., and Hillier, Frederick S., 2005, *Introduction to Operations Research, 8th Edition.*, Mc Graw-Hill Companies, New York.
- Ramakumar, R, 1993, *Engineering Reliability: Fundamental and Applications*, Prentice-Hall Internasional Inc., Oklahoma
- Supandi, 1988, *Manajemen Perawatan Industri*, Ganeca Exact, Bandung.
- Taha, H.A., 1992, *Operations Research: An Introduction, 5th Edition*, Macmillan Publishing Co., Singapore.
- Usher, J.S, Kamal, A.H, Syed, W.H, 1998, *Cost Optimal Preventive Maintenance and Replacement Scheduling*, *IEE Transactions*, 30, 1121-1128.
- Yudistyawati, Gesti, 2007, *Model Optimisasi Perawatan Pencegahan Gabungan Pada Multi Komponen Independent*, Tugas Akhir, ITENAS, Bandung.