

INTERVAL PENGGANTIAN PENCEGAHAN KOMPONEN TRUK PENGANGKUT SAMPAH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KERUGIAN MASYARAKAT (Studi Kasus PD Kebersihan Wilayah Operasional Bandung Timur)

Kusmaningrum, Liza Yulia, Susy Susanti
Jurusan Teknik Industri, Itenas
(kusmaningrum@itenas.ac.id)
(Susy@itenas.ac.id)

Abstrak

Salah satu peran dari PD Kebersihan adalah memberikan jasa pelayanan pengangkutan sampah dari tempat pembuangan sementara ke tempat pembuangan akhir. Kualitas jasa pelayanan pengangkutan sampah yang diselenggarakan sangat tergantung pada kinerja truk sampah yang dioperasikan. Kebijakan mengoperasikan truk secara terus menerus hingga terjadi kerusakan akan berdampak pada biaya perbaikan yang mahal dengan resiko keselamatan yang perlu dihindari. Kinerja operasi truk dapat dijaga dan dikendalikan melalui program perawatan pencegahan. Berbagai model optimisasi perawatan yang dikembangkan dengan kriteria ongkos telah mempertimbangkan ongkos operasi dan perawatan dari sisi pemilik mesin. Truk pengangkut sampah dioperasikan untuk melayani kepentingan publik. Kerusakan truk berkontribusi pada kegagalan PD Kebersihan dalam melaksanakan fungsi pengangkutan sampah yang dampaknya cukup mengganggu kepentingan umum. Di dalam penelitian ini dikaji persoalan optimisasi penggantian komponen truk sampah. Persoalan optimisasi dikembangkan dengan mempertimbangkan kerugian masyarakat akibat keterlambatan pengangkutan sampah. Selanjutnya kerugian tersebut bersama dengan ongkos perawatan dan penggantian yang ditanggung oleh PD Kebersihan diterapkan ke dalam model klasik penggantian komponen. Pertimbangan kerugian masyarakat ke dalam model penggantian komponen mendukung keputusan penggantian pada umur yang lebih dini. Dengan menerapkan keputusan tersebut maka kinerja keandalan truk akan meningkat dan kualitas pelayanan pengangkutan sampah diharapkan menjadi lebih baik.

Kata kunci: Optimisasi, Penggantian pencegahan, Kerugian masyarakat

1. Pendahuluan

Semua mesin yang dioperasikan akan mengalami penurunan kinerja baik disebabkan oleh pemakaian maupun karena penuaan. Kinerja yang memburuk ditandai dengan kerusakan atau kegagalan operasi yang semakin sering, yang terjadi di luar rencana dan berdampak pada biaya perbaikan yang mahal serta risiko keamanan yang perlu dihindari. Penurunan kinerja mesin berdampak pada ongkos operasi yang tinggi, dan atau mutu output yang rendah. Perawatan merupakan salah satu cara penekanan biaya operasi yang telah berhasil memberikan kontribusi signifikan (Mitchell, 1999). Lazimnya untuk menjaga dan mengendalikan kinerja mesin dilakukan program perawatan pencegahan dan *overhaul*, termasuk penyediaan suku cadang dan berbagai sumber daya perawatan yang diperlukan.

Perusahaan Daerah Kebersihan Kota Bandung merupakan Badan Usaha Milik Daerah yang bergerak dalam jasa pelayanan kebersihan di bidang pengelolaan sampah. Salah satu tugas dari PD Kebersihan adalah mengangkut sampah dari tempat pembuangan sementara (TPS) ke tempat pembuangan akhir (TPA) dengan menggunakan truk pengangkut sampah. Terbatasnya jumlah truk pengangkut sampah yang dimiliki, besarnya volume sampah yang harus diangkut, dan jauhnya lokasi TPA berakibat pada beban pengoperasian yang tinggi terhadap armada truk. Saat ini, sistem perawatan yang digunakan oleh PD Kebersihan adalah *corrective maintenance*, dimana perawatan dilakukan hanya bila terjadi kerusakan. Kerusakan truk akan mengakibatkan penundaan pengangkutan sampah dari TPS ke TPA. Dalam situasi demikian volume sampah di TPS meningkat sehingga menimbulkan gangguan terhadap masyarakat. Berbagai pelayanan publik memang tidak memiliki standar pelayanan yang secara umum diketahui oleh publik. Masyarakat selama ini cenderung menerima apapun kinerja pelayanan yang diselenggarakan, dan jarang mengajukan

tuntutan ganti rugi bila terjadi pelayanan yang lebih buruk dari biasanya. Meskipun demikian sebagai badan usaha milik pemerintah yang menyelenggarakan pelayanan kepada masyarakat, PD Kebersihan diharapkan selalu berusaha memperbaiki kualitas pelayanannya.

Sejumlah persoalan yang ditimbulkan akibat ketidak sesuaian penanganan sampah adalah tersumbatnya drainase, tertutupnya badan jalan, lingkungan yang kotor, timbulnya bau busuk, munculnya serangga pengganggu seperti lalat dan nyamuk, yang kesemuanya menjadikan lingkungan sekitarnya terdegradasi (Rahman, 2006). Keterlambatan pengangkutan sampah akibat kerusakan truk memang tidak menimbulkan kerugian secara langsung terhadap PD Kebersihan sehingga boleh jadi diabaikan. Namun masyarakat yang telah membayar retribusi sampah selayaknya merasa dirugikan karena pelayanan pengangkutan sampah yang tidak layak, dan sebagai badan pelayanan publik seharusnya PD Kebersihan mempertimbangkan kerugian masyarakat tersebut dalam menyusun kebijakan perawatan armada truk yang dimilikinya.

Berbagai model perawatan telah dikembangkan dengan asumsi bahwa kinerja mesin yang terdeteriorasi menimbulkan kerugian sehingga perlu dipertahankan dengan tindakan pencegahan baik berbentuk pemeriksaan, perawatan, dan atau penggantian, dimana indeks kinerja yang dioptimalkan menjadi dasar pemilihan variabel model (Soemadi, et al., 2000). Tindakan perawatan pencegahan guna mempertahankan kinerja operasi akan menimbulkan konsekuensi biaya. Di sisi lain tanpa tindakan tersebut berimplikasi pada frekuensi kerusakan yang tinggi sehingga ongkos pengoperasian dan perawatan mesin juga meningkat. *Trade-off* antara biaya pencegahan dengan biaya operasi dan perawatan telah menjadi landasan berbagai model optimisasi penggantian. Model umumnya dikembangkan dari pihak pemilik mesin yang mengoperasikan mesin tersebut untuk tujuan mendapatkan keuntungan. Maka *trade-off* lazim dilakukan terhadap biaya penggantian pencegahan yang harus dikeluarkan dan nilai kerugian akibat kerusakan yang harus ditanggung oleh pemilik mesin. Karena kedua jenis ongkos tersebut diderita oleh pihak yang sama maka *trade-off* dapat dengan mudah dilakukan.

Di dalam penelitian ini dikembangkan model pengambilan keputusan penggantian pencegahan komponen truk sampah dengan mempertimbangkan kerugian baik kerugian yang dialami PD Kebersihan untuk memperbaiki kerusakan truk, maupun kerugian masyarakat akibat timbunan sampah yang terlambat diangkut. Model bertujuan untuk menentukan interval waktu optimal untuk melakukan penggantian pencegahan komponen. Tulisan ini disajikan dengan urutan sebagai berikut. Pada bagian 2, disajikan formulasi model dan dilanjutkan dengan pendekatan kerugian masyarakat pada bagian 3. Pada bagian 4 disajikan solusi kasus yang dijadikan obyek penerapan model. Dan terakhir pada bagian 5 disimpulkan hasil penelitian beserta saran penelitian lebih lanjut.

2. Pengembangan Model

Optimisasi penggantian komponen truk sampah diformulasikan ke dalam model penggantian pencegahan klasik (Jardine, 1973). Pendekatan model adalah menggunakan metoda analitik dengan penurunan persamaan total ekspektasi ongkos perawatan per satuan waktu selama suatu interval penggantian pencegahan yang terdiri dari ongkos penggantian pencegahan C_p dan ongkos penggantian kerusakan C_f . Kerusakan komponen berdistribusi Weibull dengan fungsi kepadatan $f(t)$, fungsi kepadatan kumulatif $F(t)$, dan fungsi keandalan $R(t)$. Maka kemungkinan terjadinya kerusakan komponen sebelum mencapai umur t yang dinyatakan oleh $F(t)$, akan meningkat sesuai dengan umur pemakaian t . Pemilihan siklus penggantian optimal t_p^* , ditentukan berdasarkan ekspektasi ongkos perawatan per satuan waktu yang minimum. Secara umum semakin panjang siklus penggantian t_p maka kontribusi ongkos penggantian pencegahan persatuan waktu menjadi semakin kecil, namun kemungkinan terjadinya kegagalan didalam siklus tersebut semakin besar sehingga ekspektasi biaya penggantian kerusakan per satuan waktu meningkat. Sebaliknya untuk siklus penggantian t_p yang pendek mengakibatkan biaya penggantian pencegahan per satuan waktu tinggi namun ekspektasi biaya penggantian kerusakan per satuan waktu menjadi lebih rendah. Optimisasi bertujuan menentukan panjang siklus penggantian yang terbaik t_p^* yang memberikan

ekspektasi biaya perawatan per satuan waktu yang minimum. Hal baru dalam penelitian ini adalah dipertimbangkannya ongkos kerugian masyarakat C_s sebagai bagian dari total ongkos penggantian perawatan persiklus penggantian pencegahan t_p yang harus dibayarkan oleh PD Kebersihan bila terjadi kerusakan komponen dalam interval tersebut.

Notasi

Notasi yang selanjutnya dipergunakan dalam pengembangan model penelitian adalah sebagai berikut:

- $C(t_p)$: ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu
- C_p : biaya penggantian pencegahan.
- C_f : biaya penggantian kerusakan.
- C_s : biaya kerugian masyarakat
- T_p : waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan.
- T_f : waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian kerusakan.
- $R(t_p)$: fungsi keandalan peralatan atau mesin.
- $f(t_p)$: fungsi padat peluang dari waktu menuju kerusakan peralatan atau mesin.
- $M(t_p)$: rata-rata waktu terjadinya kerusakan ketika penggantian pencegahan dilakukan pada waktu t_p .

Asumsi

- Penggantian pencegahan adalah kegiatan yang direncanakan dan tidak menimbulkan keterlambatan pengangkutan sampah
- Penggantian kerusakan adalah kejadian yang di luar rencana sehingga mengakibatkan keterlambatan pengangkutan sampah yang merugikan masyarakat.
- Kerugian masyarakat akibat keterlambatan pengangkutan sampah dipertimbangkan bersama dengan biaya lain yang harus dikeluarkan oleh PD Kebersihan dalam menentukan siklus waktu penggantian pencegahan.

Model Penggantian pencegahan

Penurunan model persamaan ongkos persiklus penggantian t_p persatuan waktu adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{l} \text{Ekspektasi Ongkos} \\ \text{perawatan per satuan waktu} \\ C(t_p) \end{array} = \frac{\begin{array}{l} \text{Ekspektasi ongkos perawatan} \\ \text{selama satu siklus penggantian pencegahan } t_p \end{array}}{\begin{array}{l} \text{Ekspektasi panjang siklus penggantian} \\ \text{pencegahan} \end{array}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Ekspektasi ongkos} \\ \text{perawatan} \\ \text{selama satu siklus} \\ \text{penggantian pencegahan } t_p \end{array} = \begin{array}{l} \text{Ekspektasi ongkos} \\ \text{penggantian} \\ \text{pencegahan selama } t_p \end{array} + \begin{array}{l} \text{Ekspektasi ongkos} \\ \text{penggantian kerusakan} \\ \text{selama } t_p \end{array} \quad (2)$$

$$= (C_p \times R(t_p)) + ((C_f + C_s) \times [1 - R(t_p)])$$

$$\begin{array}{l} \text{Ekspektasi panjang} \\ \text{siklus penggantian} \\ \text{pencegahan} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Ekspektasi panjang} \\ \text{siklus sukses (tidak} \\ \text{terjadi kerusakan} \\ \text{hingga } t_p) \end{array} + \begin{array}{l} \text{Ekspektasi panjang siklus} \\ \text{gagal (terjadi kerusakan} \\ \text{sebelum } t_p) \end{array} \quad (3)$$

$$= ((t_p + T_p) \times R(t_p)) + \int_{-\infty}^{t_p} t_p f(t_p) dt_p + T_f [1 - R(t_p)]$$

Menggunakan (1), (2), dan (3) didapatkan ekspektasi ongkos perawatan per satuan waktu adalah:

$$C(t_p) = \frac{(C_p \times R(t_p)) + ((C_f + C_s) \times [1 - R(t_p)])}{((t_p + T_p) \times R(t_p)) + \int_{-\infty}^{t_p} t_p f(t_p) dt_p + T_f [1 - R(t_p)]} \quad (4)$$

Pencarian solusi model dilakukan dengan melakukan perhitungan $C(t_p)$ dalam suatu rentang harga t_p untuk mendapatkan t_p^* yang memberikan ongkos perawatan per satuan waktu yang minimum $C(t_p)^*$.

3. Pemodelan Kerugian Masyarakat

Pemilihan investasi publik lazim dilakukan berdasarkan analisis manfaat dan ongkos sosial (*social cost-benefit analysis*). Menggunakan metoda ini investasi perusahaan yang di dalam operasinya dapat menimbulkan efek merugikan bagi masyarakat dapat dieliminir. Dewasa ini pendekatan tersebut juga dipakai untuk mempelajari dampak sosial berbagai kebijakan pemerintah dalam merestrukturisasi industri maupun melakukan privatisasi. Evaluasi dampak dari suatu investasi dilakukan secara menyeluruh baik terhadap efisiensi ekonomis maupun untuk mengidentifikasi pihak yang mendapat keuntungan dan yang menderita kerugian serta berapa besarnya. Ongkos sosial mencakup berbagai biaya yang dikeluarkan oleh masyarakat dan pemerintah. Sebagai contoh ongkos sosial akibat merokok dinyatakan meliputi ongkos pengobatan penyakit yang timbul dan berkurangnya upah yang diterima oleh tenaga kerja yang meninggal atau sakit akibat rokok. (Quah, et al., 2002).

Salah satu ciri masyarakat maju adalah lingkungan yang bersih. Pengungkapan aspirasi sosial terhadap kebutuhan masyarakat akan suatu kondisi lingkungan tertentu adalah tidak mudah dilakukan dan lazimnya aspirasi sosial sulit untuk diukur (Tool dan Bush, 2003). Dalam penelitian ini ongkos social atau kerugian masyarakat sebagai akibat keterlambatan pengangkutan sampah dikembangkan berdasarkan opini mereka terkait dengan kualitas pelayanan yang diterima dan retribusi sampah yang sudah dibayarkan. Menggunakan pendekatan ini ongkos social dinyatakan sebagai persentase retribusi sampa yang seharusnya dibayarkan kembali sebagai ganti rugi atas keterlambatan pengangkutan sampah dan besarnya linier terhadap jumlah hari keterlambatan. Dari sisi masyarakat nilai kerugian yang diungkap menggunakan pendekatan ini adalah nilai kerugian yang paling rendah mengingat berbagai kerugian lain akibat gangguan kesehatan, banjir akibat selokan yang mampat, degradasi lingkungan, dan lain-lainnya tidak dipertimbangkan.

Menggunakan angka persentase ganti rugi tersebut maka ongkos sosial yang perlu dipertimbangkan sebagai akibat satu hari keterlambatan pengangkutan sampah diformulasikan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \text{Kerugian} & \text{masyarakat} \\ \text{akibat} & \text{keterlambatan} \\ \text{pengangkutan} & \text{sampah} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Total retribusi} \\ \text{yang dibayar} \\ \text{masyarakat} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{persen pengembalian} \\ \text{retribusi sebagai} \\ \text{ganti rugi} \end{bmatrix} \quad (5)$$

4. Solusi Model

Solusi penggantian pencegahan optimal komponen diperoleh dengan menerapkan data dari PD Kebersihan wilayah Bandung Timur yang mengoperasikan 7 unit truk sampah dan melayani 28 TPS. Pengumpulan data kerusakan di pool armada truk menunjukkan bahwa salah satu komponen kritis yang sering menjadi penyebab truk tidak dapat dioperasikan adalah komponen plat kopling. Kebijakan yang dilakukan saat ini adalah mengganti plat kopling bila terjadi kerusakan. Menggunakan data kerusakan komponen plat kopling ketujuh truk selama periode Januari 2005 sampai dengan Februari 2009 diprediksi pola kerusakan yang terjadi. Data tersebut dinyatakan dalam satuan waktu antar kejadian kerusakan. Masing-masing truk melayani TPS yang berlainan

maka dengan mempertimbangkan jarak tempuh masing-masing truk dilakukan konversi satuan data menjadi satuan kilometer antar kerusakan.

Pengolahan data menghasilkan jarak tempuh antar kerusakan berdistribusi Weibull dengan parameter $\alpha = 80651,851$ dan $\beta = 1,254$. Data juga menunjukkan kerusakan plat kopling rata-rata terjadi setelah dioperasikan menempuh jarak 81.340 km. Penggantian kerusakan plat kopling meliputi 29 operasi yang membutuhkan waktu 31 jam atau empat hari kerja. Berbagai data lainnya diperoleh melalui wawancara dan pengamatan. Dengan mengkonversikan semua parameter lainnya kedalam satuan kilometer jarak tempuh didapatkan jarak tempuh yang ekuivalen dengan waktu penggantian pencegahan $T_p = 1.146$ km, dan jarak tempuh yang ekuivalen dengan waktu penggantian kerusakan $T_f = 1.891$ km. Selanjutnya diperoleh biaya penggantian pencegahan $C_p =$ Rp. 4.750.000/unit plat kopling, dan biaya penggantian kerusakan $C_f =$ Rp.5.136.920 / kerusakan.

Selanjutnya ongkos penggantian pencegahan C_p yang dipertimbangkan model adalah ongkos *spare part* dengan pertimbangan bahwa perbaikan dilakukan oleh tenaga tetap yang melakukan penggantian di pool kendaraan secara terencana sehingga tidak timbul ongkos downtime.

Opini masyarakat mengenai kerugian akibat sampah terlambat diangkut diartikulasikan menggunakan kuesioner sederhana yang berisi dua pertanyaan. Pertanyaan pertama adalah pertanyaan terbuka mengenai jenis dampak yang dirasakan akibat keterlambatan pengangkutan sampah, bertujuan memfokuskan responden terhadap ketidaknyamanan situasi yang terjadi akibat sampah terlambat diangkut dan diharapkan dapat membantu dalam menjawab pertanyaan kedua. Pertanyaan kedua bertujuan memunculkan perasaan dirugikan terkait dengan retribusi sampah yang telah dibayarkan namun pelayanan pengangkutan sampah tidak sesuai dengan harapan. Jawaban pertanyaan kedua bentuknya semi tertutup yakni pilihan persentase retribusi sampah yang harus dikembalikan oleh PD Kebersihan kepada masyarakat.

Kuesioner dibagikan kepada 30 orang responden yang merupakan warga yang tinggal di sekitar TPS wilayah Bandung Timur. Jawaban atas pertanyaan pertama menunjukkan kemiripan dengan hasil penelitian Rahman, 2006, yakni lingkungan yang kotor dan bau, timbulnya lalat, dan resiko penyakit. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa responden cukup fokus akan dampak keterlambatan pengangkutan sampah. Retribusi sampah yang dibayarkan oleh setiap keluarga jumlahnya tergantung pada daya listrik terpasang dan ditampilkan pada Tabel 1. Responden dalam memberikan jawaban pertanyaan kedua mengenai persentase retribusi sampah yang seharusnya dikembalikan sebagai ganti rugi menunjukkan besaran yang bervariasi mulai 10% hingga 200% dengan nilai rata-rata 51%. Jawaban responden terhadap pertanyaan kedua ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Daya Listrik Terpasang dan Jumlah Retribusi Sampah

Daya Terpasang (Watt)	Jumlah Retribusi Sampah
0 - 450	Rp 2000
450 < P ≤ 2400	Rp 3000
P > 2400	Rp 4000
Rata2 : Rp 3000	

Tabel 2. Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan Kedua

Jumlah Responden yang Menjawab	Ganti Rugi Keterlambatan Pengangkutan Sampah (dalam % retribusi sampah)
8	10 %
5	30 %
9	50 %
2	70 %
5	100 %
1	200 %
Rata2 : 51 %	

Kerugian masyarakat dihitung per kejadian kerusakan truk sebagai berikut. Volume sampah per hari yang terkumpul di 28 TPS sekitar 110 m^3 . Retribusi sampah per bulan di wilayah tersebut dihitung dengan asumsi berikut: i). Jumlah sampah yang dihasilkan per orang per hari adalah 0.025 m^3 , dan ii). Setiap keluarga beranggotakan empat orang. Menggunakan asumsi pertama didapatkan prediksi kasar jumlah penduduk yang membuang sampah ke TPS tersebut, yakni sekitar 44.000 jiwa. Dengan asumsi kedua maka dapat dihitung jumlah kepala keluarga yang membayar retribusi sampah di wilayah Bandung Timur, yakni sebanyak 11.000 kepala keluarga. Masing masing membayar retribusi sampah yang besarnya rata-rata Rp 3.000 per bulan, sehingga total retribusi yang dibayarkan warga per bulan adalah Rp 33.000.000. Tidak beroperasinya truk pengangkut sampah berakibat pelayanan pengangkutan sampah dari TPS ke TPA tertunda. Penundaan ini terjadi lebih kurang dalam jangka waktu 8 jam karena sampah tersebut baru diangkut oleh truk pengangkut sampah pengganti pada jam kerja shift kedua. Kondisi ini akan berlangsung sampai truk yang rusak selesai diperbaiki, yaitu kurang lebih selama 4 hari. Menggunakan persentase ganti rugi keterlambatan pengangkutan sampah per hari sebesar 51% diperoleh $C_s = \text{Rp } 9.535.368$ per kejadian kerusakan.

Menggunakan parameter model untuk menghitung $C(t_p)$ pada berbagai interval t_p menggunakan program excel dan disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut diperoleh interval jarak penggantian pencegahan plat kopling optimal sebesar 60.600 km. Pada jarak ini ekspektasi ongkos total perawatan adalah Rp. 126 /km, dengan tingkat keandalan sebesar 0.980146.

5. Analisis

Waktu antar kerusakan komponen plat kopling merepresentasikan proses deteriorasi komponen mekanik yang meningkat terhadap waktu. Masing-masing truk dioperasikan pada rute dengan medan jalan yang berbeda, namun jumlah data kerusakan setiap truk yang tersedia kurang mencukupi sehingga sulit untuk membuat distribusi kerusakan individu. Distribusi kerusakan gabungan selanjutnya dipergunakan setelah dilakukan uji homogenitas data kerusakan. Biaya kerugian masyarakat diperoleh dengan cara penyebaran kuesioner sederhana kepada yang bertempat tinggal di sekitar daerah TPS. Kuesioner dibagikan kepada masyarakat yang memiliki berbagai macam latar pendidikan dan profesi. Tanggapan responden terhadap kerugian yang diharapkan dapat diterima akibat satu hari keterlambatan pengangkutan sampah juga bermacam-macam sehingga sebaran data persentase kerugian masyarakat yang diperoleh memiliki *range* yang cukup besar.

Kebijakan saat ini yang ditempuh PD Kebersihan adalah mengoperasikan komponen plat kopling hingga mengalami kerusakan. Kebijakan tersebut mengakibatkan rata-rata jarak tempuh antar kerusakan sebesar 81.344 km. Menggunakan jarak tempuh rata-rata dari ketujuh truk maka truk mengalami kerusakan rata-rata setiap 7 bulan sekali. Solusi model menghasilkan jarak penggantian optimal sebesar 60.000 km. Menerapkan solusi tersebut menghasilkan kebijakan penggantian pencegahan plat kopling rata-rata setiap 5 bulan. Masing-masing truk memiliki jarak tempuh yang berbeda sesuai dengan rute operasinya, dan bila disesuaikan dengan perbedaan jarak tempuh tersebut maka selang antar penggantian tersingkat adalah 4 bulan dan selang terpanjang 8 bulan.

Analisa sensitivitas terhadap perubahan ongkos penggantian kerusakan menunjukkan hal yang menarik untuk dikemukakan, yakni bila kerugian masyarakat tidak dipertimbangkan dalam menentukan kebijakan penggantian pencegahan plat kopling maka keputusan optimal yang dihasilkan adalah membiarkan plat kopling dioperasikan hingga terjadi kerusakan (*run to failure*) seperti yang dilaksanakan oleh PD Kebersihan selama ini. Dengan demikian maka bila kerugian masyarakat tersebut diperluas dengan mempertimbangkan berbagai akibat lain seperti biaya akibat gangguan kesehatan, banjir karena saluran tersumbat dan lain-lain maka kebijakan optimal yang dihasilkan model akan memberikan jarak antar penggantian pencegahan yang lebih pendek.

6. Kesimpulan

Model optimisasi perawatan yang telah dikembangkan lazimnya menggunakan sudut pandang pemilik modal yang mengoperasikan mesin dengan tujuan mendapatkan keuntungan. Model menggunakan kriteria minimasi biaya perawatan pencegahan dan perawatan kerusakan dimana komponen utamanya adalah kerugian yang diderita pemilik modal akibat produksi terhenti. Penelitian ini mengembangkan model keputusan perawatan bagi truk sampah yang dioperasikan untuk kepentingan publik dengan mengakomodasi dampak kerusakan truk terhadap masyarakat yang dilayaninya. Maka dampak negatif dari kerusakan mesin yang dirasakan oleh masyarakat dipertimbangkan di dalam keputusan perawatan.

Menerapkan data kerusakan plat kopling 4 tahun terakhir pada model tersebut menunjukkan bahwa bila kerugian masyarakat tidak dipertimbangkan maka kebijakan optimal adalah tidak melakukan penggantian pencegahan plat kopling, dan mengoperasikannya sampai kerusakan terjadi. Data menunjukkan rata-rata plat kopling terjadi setiap 7 bulan sekali. Dengan mempertimbangkan kerugian masyarakat diperoleh interval penggantian pencegahan optimal rata-rata 5 bulan bagi ke tujuh truk. Penerapan penggantian pencegahan akan meningkatkan keandalan truk sampah yang berarti memperbaiki kinerja PD Kebersihan, meskipun berdampak terhadap biaya perawatan yang harus dianggarkannya. Mempertimbangkan kerugian masyarakat sebagai bagian dari ongkos penggantian kerusakan komponen plat kopling menghasilkan solusi yang lebih baik karena akan meningkatkan kualitas pelayanan PD. Kebersihan. Kerugian masyarakat yang dipertimbangkan dalam penelitian ini sebenarnya baru sebagian kecil dari ongkos sosial yang seharusnya dipertimbangkan oleh penyelenggara pelayanan publik. Bila ongkos sosial sepenuhnya dipertimbangkan dan diterapkan ke dalam model maka interval penggantian pencegahan yang dihasilkan akan menjadi lebih pendek sehingga anggaran biaya perawatan semakin meningkat. Untuk mengatasi mahalnya biaya perawatan terdapat salah satu cara lain yang dapat ditempuh, yakni meningkatkan kinerja keandalan dengan menyediakan truk cadangan (Soemadi, 2008). PD Kebersihan mengoperasikan sejumlah besar truk yang layaknya mampu melakukan pengangkutan sampah dengan baik setiap hari pada jadwal yang sama. Saran penelitian lebih lanjut adalah penentuan jumlah truk cadangan yang optimal di lingkungan PD Kebersihan.

Pustaka

- Jardine, A.K.S. (1973), *Maintenance Replacement and Reliability*, Sir Isaac Pitman and Sons Ltd.
- Mitchell, J.S. (1999), *Operating equipment asset management*, Applied Research Laboratory, Pennsylvania State University.
- Rahman, M. T., 2006, Domestic Waste Disposal Practice of Sylhet City, *Journal of Applied Sciences* 6 (7), 1506-1512.
- Quah, E., Tan, K.C., Saw, S.L.C., Yong, J.S., 2002, The Social Cost of Smoking in Singapore, *Singapore Med J*, Vol 43 (7).
- Soemadi, K. , Puspa, L. P., Mustofa, F. H., 2008, Penggantian Pencegahan Selang Hidraulik Mesin Induction Furnace Bercadangan (Kasus di Divisi Tempa Dan Cor Pt. Pindad), *Proceeding Seminar Nasional Teknik Industri*, Makassar.
- Soemadi, K., Iskandar, B. P., Taroepratjeka, H., Sतालaksana, I. Z., 2000, Survei model perawatan bagi sistem tunggal dan sistem jamak, *Jurnal ITENAS*, 4, 1, 2-14.
- Tool, M. R., Bush, P. D., 2003, *Institutional Analysis and Economic Policy*, 2003, diunduh dari <http://books.google.co.id/books>

Tabel 3. Perhitungan Biaya Perawatan Pada Berbagai Interval Penggantian Pencegahan

Interval Penggantian Pencegahan (t_p)	Biaya Penggantian Pencegahan (C_p)	Biaya Penggantian Kerusakan (C_k)	Waktu Penggantian Pencegahan (T_p)	Waktu Penggantian Kerusakan (T_k)	Probabilitas Kesuksesan (Reliability) $R(t_p)$	Probabilitas Kegagalan $1 - R(t_p)$	Mean Time To Failure MTTF	Ekspektasi Biaya Total Penggantian Pencegahan Per Satuan Jarak Tempuh $C(t_p)$	Ekspektasi Availability Per Satuan Jarak Tempuh $A(t_p)$
					$R(t_p) = \exp\left[-\left(\frac{t_p}{\alpha}\right)^\beta\right]$		$\int_0^{t_p} f(t_p) dt$	$C(t_p) = \frac{(C_p + \alpha C_k) + (C_k - \alpha C_k) \left[\frac{1 - R(t_p)}{\beta} + \gamma \right]}{\beta + \gamma}$	$A(t_p) = \frac{C(t_p)}{\beta + \gamma + \alpha C_k}$
(km)	(Rp)	(Rp)	(km)	(km)	-	-	(km)	(Rp)	-
59,300	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.507	0.493	44,744	126.4110	0.980046
59,400	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.506	0.494	44,795	126.4086	0.980054
59,500	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.505	0.495	44,845	126.4063	0.980062
59,600	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.504	0.496	44,896	126.4043	0.980070
59,700	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.504	0.496	44,946	126.4025	0.980077
59,800	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.503	0.497	44,997	126.4009	0.980085
59,900	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.502	0.498	45,047	126.3994	0.980093
60,000	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.501	0.499	45,097	126.3982	0.980101
60,100	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.501	0.499	45,147	126.3971	0.980109
60,200	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.500	0.500	45,197	126.3963	0.980116
60,300	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.499	0.501	45,247	126.3956	0.980124
60,400	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.499	0.501	45,297	126.3951	0.980131
60,500	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.498	0.502	45,347	126.3948	0.980139
60,600	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.497	0.503	45,397	126.3947	0.980146
60,700	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.496	0.504	45,446	126.3948	0.980154
60,800	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.496	0.504	45,496	126.3950	0.980161
60,900	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.495	0.505	45,546	126.3955	0.980168
61,000	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.494	0.506	45,595	126.3961	0.980176
61,100	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.494	0.506	45,644	126.3969	0.980183
61,200	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.493	0.507	45,694	126.3979	0.980190
61,300	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.492	0.508	45,743	126.3991	0.980197
61,400	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.491	0.509	45,792	126.4005	0.980204
61,500	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.491	0.509	45,841	126.4020	0.980211
61,600	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.490	0.510	45,890	126.4037	0.980218
61,700	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.489	0.511	45,939	126.4056	0.980225
61,800	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.489	0.511	45,988	126.4077	0.980232
61,900	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.488	0.512	46,037	126.4099	0.980239
62,000	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.487	0.513	46,086	126.4123	0.980246
62,100	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.486	0.514	46,135	126.4149	0.980252
62,200	4,750,000	14,672,288	1,146	1,909	0.486	0.514	46,183	126.4177	0.980259