

ANALISIS METODE BIAYA PERAWATAN HAUL TRUCK DENGAN SISTEM KONTRAK PADA PT "ABC" BANJARMASIN

Teguh Suprianto dan Hermansyah

(1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin

Abstrack

Maintenance system contracts all this time was popular. It because of marks sense that perception maintenance model with system contract precious been looked on by heavy equipment owner. Therefore needs to be done by count outgrows maintenance cost with system contracts with notice reliability of heavy equipments.

In this analysis will be worked through about whatever parameters that is used to determine maintenance cost haul truck with system contracts and how methodic to account maintenance cost with system contracts that effective so can compete and advantages owner and also agent party. In cost count contracts to be accounted by expectation point full scale downtime equipment up to one period so gets to be determined by expectation of penalty cost. From expectation Corrective Maintenance and Preventive Maintenance hereafter will be determined expectation of the cost contracts.

Keywords : *Maintenance system, maintenance cost, haul truck*

1. PENDAHULUAN

Untuk menghasilkan produktifitas yang tinggi, disamping dibutuhkan suatu kepastian mengenai kesinambungan pekerjaan yang akan dikerjakan oleh alat berat, hal lain yang penting adalah kesiapan mekanis (kesiapan alat berat untuk beroperasi)

Bentley, (1999) mendefinisikan kesiapan mekanik disebut juga '*Mechanical Availability*' adalah perbandingan antara waktu yang tersedia untuk unit dapat digunakan dengan baik (*up time*) terhadap total waktu yang tersedia untuk beroperasi.

Perawatan dengan sistem kontrak telah dilaksanakan oleh PT "ABC". PT "ABC" adalah dealer alat berat merk "X". Selain menjual alat berat, PT "ABC" juga menawarkan perawatan alat berat yang dijualnya dengan sistem kontrak. Dalam perjanjian kontrak PT "ABC" menawarkan tingkat *availability* tertentu selama satu tahun. Harga jasa perawatan yang di tawarkan oleh PT "ABC" dirumuskan dalam bentuk *cost per hour* (CPH). Harga jasa perawatan per unit waktu ini merupakan salah satu kesepakatan antara agen dan konsumen.

Tawaran perawatan dengan sistem kontrak selama ini belum populer dikalangan para pemilik alat berat. Perusahaan yang memanfaatkan sistem kontrak adalah perusahaan yang memiliki hubungan kepemilikan dengan PT "ABC". Hal ini disebabkan oleh adanya persepsi bahwa model perawatan dengan sistem kontrak dianggap mahal oleh kalangan pemilik alat berat.

Selama ini, penaksiran terjadinya kerusakan yang dilakukan oleh PT "ABC" ditetapkan secara periode tertentu pada interval waktu yang tetap. Dengan metode seperti ini tidak memperhitungkan pola kerusakan alat yang bersifat acak sehingga metode ini belum akurat. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan besarnya biaya perawatan dengan sistem kontrak dengan memperhatikan keandalan dari alat berat.

Secara umum, besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk perawatan alat berat sulit diperkirakan dan tidak dapat digeneralisasikan. Hal ini karena pola kerusakan alat bersifat acak dan dipengaruhi oleh cara pemakaian dan lokasi pemakaian alat oleh konsumen. Pola kerusakan tersebut akan mempengaruhi besarnya tingkat *availability* alat untuk beroperasi.

Topik dalam penelitian ini adalah kontrak jasa perawatan. Agar dapat menyediakan jasa perawatan yang kompetitif dan diterima oleh pemilik alat berat maka agen harus dapat menghitung secara akurat.

Hal ini penting diteliti karena selain biayanya harus kompetitif, agen juga harus mampu memenuhi kontrak yang disepakati agar tidak terkena *penalty*.

Menejemen Perawatan

Perawatan didefinisikan sebagai semua kondisi suatu alat sesuai dengan spesifikasinya. Secara umum perawatan terdiri dari dua jenis yaitu (Murthy dan Jack, 2003), yaitu *Preventive maintenance (PM)* dan *Corrective maintenance (CM)*.

Preventive maintenance (PM) adalah kegiatan yang dilakukan untuk mempertahankan

kondisi suatu alat sesuai dengan spesifikasinya dengan cara melakukan pemeriksaan sistematis, mendeteksi dan mencegah kerusakan. Pada PT ABC, PM terbagi menjadi PM 250, 500, 1000 dan 2000 jam operasi.

Corrective maintenance (CM) adalah tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada suatu peralatan dan mengembalikannya ke kondisi beroperasi kembali setelah terjadi kerusakan.

Adapun kebijakan pelaksanaan perawatan tiap perusahaan dapat berbeda kebijakan. Ada perusahaan yang melakukan perawatan alat sendiri ada perusahaan yang melakukan perawatan alat dengan bekerjasama dengan perusahaan penyedia jasa perawatan melalui sistem *outsourcing* /sistem kontrak.

Kebijakan jasa yang diterapkan oleh agen yang tepat dapat menurunkan biaya jasa perawatan tanpa mengabaikan tingkat kualitas yang diberikan kepada pemilik alat. Oleh karena itu manfaat studi kontrak jasa perawatan bagi agen adalah untuk mendapatkan estimasi biaya perawatan suatu alat secara lebih akurat dan diharapkan dapat menentukan harga jasa perawatan yang bersaing.

Jika performansi alat berat tidak dapat mencapai target *availability* yang telah disepakati maka agen harus mengeluarkan pembayaran *penalty* dan sebaliknya juga jika target *availability* terpenuhi maka PT "ABC" tidak perlu membayar biaya *penalty*. Berarti, pembayaran *penalty* dan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan alat berat adalah biaya jasa perawatan.

Kontrak Jasa Perawatan

Kontrak jasa perawatan adalah salah satu alternatif bagi perusahaan pemilik alat berat dalam melakukan perawatan alatnya. Untuk melakukan perawatan sendiri, pemilik memerlukan fasilitas dan tenaga kerja untuk merawat alat berat. Ketika alat berat mengalami kerusakan maka pemilik dapat memperbaiki sendiri atau memanggil perusahaan jasa service untuk memperbaikinya.

Keuntungan melakukan perawatan sendiri diantaranya adalah :

- a. Proses perawatan lebih fleksibel, tidak terikat oleh kontrak. Ketika terjadi kerusakan, pemilik dapat melakukan penundaan perbaikan tergantung pada kondisi keuangan dan penggunaan alat.
- b. Dapat menggunakan alternatif suku cadang yang dianggap lebih murah.

Sedangkan kerugian melakukan perawatan sendiri adalah:

- a. Memerlukan investasi tambahan untuk pengadaan peralatan service dan tenaga kerja (mekanik).

- b. Waktu perbaikan relatif lebih lama. Peralatan service dan keahlian mekanik yang dimiliki berpengaruh terhadap waktu service.
- c. Tingkat *availability* dipengaruhi oleh fasilitas dan kemampuan mekanik yang dimiliki.

Salah satu bentuk kerjasama yang ditawarkan kepada pengguna alat berat Merk "X" adalah kontrak jasa perawatan. Di dalam kontrak jasa perawatan, PT "ABC" akan melaksanakan pemeliharaan dan perbaikan alat untuk mencapai tingkat *availability* alat sesuai dengan yang disepakati. Jasa yang diberikan meliputi perawatan rutin, perbaikan kerusakan dan penggantian komponen. Perhitungan *availability haul truck* didasarkan pada jumlah jam operasional alat dalam satuan *Service Metering Unit (SMU)*. SMU adalah satuan jam operasi dari alat yang tercatat oleh alat perekam yang terpasang pada unit *haul truck*.

Beberapa kewajiban PT ABC dalam perjanjian perawatan sistem kontrak adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan perawatan alat berat baik *Preventive Maintenance* maupun *Corrective Maintenance*.
2. Menyediakan tenaga kerja perawatan, suku cadang dan material pendukung perawatan.
3. Melakukan pengawasan dan pencatatan terhadap kondisi peralatan.
4. Memastikan bahwa tingkat *availability* alat berat sesuai dengan kontrak kesepakatan.
5. Membayar biaya *penalty* jika tingkat *availability* alat kurang dari yang disepakati.

Disatu sisi PT ABC harus menjamin kondisi alat berat sementara di sisi lainnya alat berat *haul truck* dioperasikan oleh pihak konsumen. Oleh karena itu ada beberapa pengecualian *downtime* diluar tanggungan PT ABC. Pengecualian tersebut diantaranya adalah :

1. Kerusakan karena salah pengoperasian.
2. Kerusakan karena penundaan perawatan disebabkan oleh penggunaan alat berat.
3. Kerusakan karena faktor kerusakan jalan, kelebihan beban,
4. Kerusakan karena kecelakaan.
5. Kerusakan karena bencana alam.

Fungsi Distribusi Kerusakan

Beberapa fungsi dapat digunakan dan sesuai untuk menguraikan distribusi kerusakan, seperti fungsi kepadatan kemungkinan $f(t)$, fungsi kemungkinan kumulatif $F(t)$, dan fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$. Model mendasar yang digunakan dalam menganalisa data adalah fungsi distribusi kumulatif kerusakan $F(t)$. $F(t)$ didefinisikan sebagai peluang sistem dapat hidup sampai dengan waktu tertentu (t). Hubungan fungsi kepadatan kemungkinan $f(t)$, fungsi kemungkinan kumulatif $F(t)$ dan fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$ adalah sebagai berikut:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (2.2)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

Keterangan :

P (T ≤ t): Peluang sistem dapat hidup sampai dengan waktu tertentu (t)

f(t) : fungsi kepadatan kemungkinan

F(t) : fungsi distribusi kumulatif kerusakan

λ : Laju kerusakan

R(t) : Realibility (keandalan)

Menurut Soepardi (2002) distribusi kerusakan suatu alat dimodelkan dalam beberapa jenis diantaranya adalah distribusi Eksponensial, Weibull dan Gamma.

Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan salah satu distribusi yang banyak digunakan untuk memodelkan distribusi masa pakai dan umur suatu alat. Fungsi densitas dari variabel acak T yang mengikuti distribusi Weibull dengan parameter α dan β adalah :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2.5)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\alpha \beta} x \quad (2.6)$$

Keterangan ;

α = parameter skala dari distribusi Weibull

β = parameter bentuk distribusi Weibull

untuk t ≥ 0, α dan β > 0.

Fungsi distribusi dari variable acak T yang mengikuti distribusi Weibull dengan parameter β adalah :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2.7)$$

Distribusi Gamma

Distribusi Gamma merupakan salah satu distribusi kerusakan yang banyak dipakai sebagai model distribusi masa pakai suatu alat. Fungsi densitas dari variable acak T yang mengikuti distribusi Gamma dengan parameter α dan β adalah :

$$f(t) = \frac{\beta^{-\alpha} t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \quad (2.8)$$

Jika α pada fungsi densitas diatas merupakan bilangan bulat maka fungsi distribusi dari variable acak T yang mengikuti distribusi Gamma dengan parameter α dan β akan mempunyai bentuk tertentu yaitu :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)\right] \sum_{j=0}^{\alpha-1} \frac{\left(\frac{t}{\beta}\right)^j}{j!} \quad (2.9)$$

Rata-rata dan varian variable acak yang mengikuti distribusi Gamma dengan parameter α dan β adalah :

$$E(t) = \alpha \cdot \beta \quad (2.10)$$

Sedangkan variannya adalah,

$$V(t) = \alpha \cdot \beta^2 \quad (2.11)$$

Proses Poisson

Kejadian kerusakan pada suatu alat dapat digolongkan sebagai suatu proses Poisson. Suatu proses stokastik disebut proses *counting* jika N(t) menunjukkan jumlah total kejadian yang terjadi sampai saat t. Syarat terjadinya proses *counting* N(t) harus memenuhi :

1. N(t) ≥ 0
2. N(t) bernilai integer
3. Jika suatu kejadian terjadi pada saat x, dimana x < t, maka N(x) ≤ N(t)
4. Untuk x < t, N(t) - N(x) sama dengan jumlah kejadian yang terjadi selama selang (x,t)

Proses Poisson adalah suatu proses *counting* { N(t), t ≥ 0 } dengan parameter λ > 0 jika memenuhi kondisi dibawah ini :

1. N(0) = 0
2. Proses mempunyai increment independen, yaitu jumlah kejadian pada suatu interval waktu bersifat independen.
3. Probabilitas bahwa kejadian k terjadi pada sembarang interval t diberikan:

$$P\{N(t+s) - N(s) = k\} = \frac{\lambda t^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (2.12)$$

Keterangan :

P : Probabilitas

N : Jumlah kejadian

k : kejadian

λ : laju kerusakan

Untuk proses Poisson dengan parameter λ > 0, waktu antar kerusakan atau kejadian X_n merupakan variable acak berdistribusi eksponensial yang identik dan independen dengan mean = 1/λ.

Pemodelan Terjadinya Kerusakan

Andaikan X₁ menunjukkan umur sistem sampai kerusakan pertama maka X₁ dapat dimodelkan sebagai variable acak dengan fungsi distribusi didasarkan pada data histori kerusakan yang dialami oleh alat berat. Fungsi probabilitas distribusi kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F(x) = P\{X_1 \leq x\} \quad (2.13)$$

Probabilitas alat tidak mengalami kerusakan sampai dengan interval {x, x+t} dirumuskan dengan menggunakan fungsi reabilitynya yaitu :

$$R(x) = 1 - F(x) \quad (2.14)$$

Jika dimisalkan X₁ adalah variable acak yang menunjukkan lama beroperasi alat dan D₁ adalah lamanya alat tidak beroperasi karena rusak (*downtime*), maka dapat dirumuskan

$$F(t) = P(X_1 < t)$$

$$D(t) = P(D < t)$$

Rata-rata waktu antar kerusakan (*mean time between failure*) dirumuskan sebagai berikut:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot dF(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.15)$$

Sedangkan rata-rata waktu terjadinya *downtime* (*mean downtime*) adalah:

$$MDT = \int_0^{\infty} t dD(t) \quad (2.16)$$

Perumusan Konsep Pemikiran

Karakteristik sistem kontrak jasa perawatan secara umum memiliki lima faktor penting yaitu kontrak jasa perawatan, karakteristik dari penggunaan alat, karakteristik dari peralatan (spesifikasi peralatan), performansi alat berat serta kebijakan perawatan yang dilakukan. Dalam menentukan besarnya nilai kontrak, perusahaan penyedia jasa juga perlu mempertimbangkan kemungkinan terjadinya *penalty* jika hasil performansi dari alat berat kurang dari nilai minimum yang disepakati dalam kontrak.

Alat berat yang dilakukan studi adalah alat berat jenis *haul truck*. Dalam perjanjian kontrak, disepakati bahwa tingkat *availability* alat minimal 96% selama satu tahun. Adapun harga jasa perawatan yang di tawarkan oleh PT "ABC" dirumuskan dalam bentuk *cost per hour* (CPH) yaitu biaya per jam dari pengoperasian alat. Besarnya *cost per hour* ini berpengaruh terhadap keuntungan agen dan tergantung pada besarnya biaya jasa perawatan yang dikeluarkan agen untuk memenuhi kesepakatan kontrak.

Penentuan biaya perawatan selama ini belum dihitung secara rinci. Sedangkan hal tersebut sangat mempengaruhi tingkat keuntungan, kualitas, perawatan dan resiko kerusakan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan analisa besaran biaya jasa perawatan dengan sistem kontrak. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah kontrak jasa perawatan dipandang dari sudut pandang perusahaan penyedia jasa peraw

Studi kontrak jasa perawatan dapat ditinjau dari dua perspektif, yaitu perspektif konsumen dan agen. Konsumen adalah pihak yang memakai jasa perawatan sekaligus juga sebagai pemakai alat berat. Agen memerlukan studi kontrak jasa perawatan untuk memutuskan tentang struktur harga, jumlah konsumen yang dilayani, fasilitas jasa dsb. Dari perspektif konsumen diperlukan untuk memilih antara pilihan yang ditawarkan agen dan menentukan pilihan yang terbaik. (Murthy & Azgarizadeh (1998)

Penentuan kebijakan perawatan alat berat dipengaruhi oleh dua hal yaitu karakteristik alat, dalam hal ini adalah alat berat jenis *haul truck* dan karakteristik penggunaan alat oleh konsumen termasuk lingkungan dimana alat tersebut digunakan. Sebelum melakukan kesepakatan kontrak maka agen akan mempertimbangkan bagaimana karakteristik alat dan kebijakan perawatan yang akan dilakukan. Hal ini karena keduanya sangat mempengaruhi

pola kerusakan yang akan terjadi dan tentu saja berdampak pada biaya perawatan yang ditimbulkannya.

Biaya *penalty* akan timbul jika performansi alat kurang dari target *availability* yang disepakati dalam kontrak. Jika target tercapai maka tidak akan ada biaya *penalty*. Penjumlahan antara kemungkinan terjadi *penalty* dan biaya jasa perawatan merupakan total biaya jasa perawatan alat.

Pada penelitian ini dilakukan analisa biaya perawatan dan perbaikan serta kemungkinan *penalty* berdasarkan ekspektasi terjadinya *downtime* yang disebabkan oleh perawatan maupun oleh perbaikan.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat melakukan perhitungan besarnya biaya kontrak jasa perawatan secara lebih akurat berdasarkan pola kerusakan alat yang bersifat acak dan dipengaruhi oleh cara pemakaian dan lokasi pemakaian alat oleh konsumen.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini kontrak jasa perawatan dipandang dari sudut PT "ABC". Faktor penting dari perusahaan ini adalah bagaimana menentukan taksiran harga dari jasa perawatan yang diberikan kepada konsumen dalam hal ini adalah pemakai alat berat. Dengan estimasi biaya jasa perawatan yang akurat maka diharapkan perusahaan dapat menentukan harga penawaran yang kompetitif.

Penelitian ini bersifat kuantitatif. Pendekatan kuantitatif merupakan salah satu upaya pencarian ilmiah (*scientific inquiry*) yang didasari oleh filsafat positivisme logika (*logical positivism*) yang beroperasi dengan aturan-aturan yang ketat mengenai logika, kebenaran, hukum-hukum, dan prediksi (Watson. dalam Danim 2002).

Penelitian ini dilaksanakan untuk menjelaskan, menguji hubungan antar parameter, menentukan kasualitas dari parameter, menguji teori dan mencari generalisasi yang mempunyai nilai prediktif yaitu memprediksikan besarnya biaya jasa perawatan. Penelitian ini akan dilakukan dengan data *historis* dari perawatan yang dilakukan pada unit alat berat yaitu *haul truck*. Analisis data dilakukan menggunakan teknik statistik untuk memperoleh nilai kontrak yang sesuai.

Untuk dapat melakukan analisis data diperlukan suatu pemodelan total biaya perawatan. Pemodelan total biaya perawatan yang memperhitungkan kemungkinan *penalty* akan tergantung pada model kerusakan yang terjadi serta model dari *downtime* alat.

Parameter Penelitian

Beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

- a. Tingkat *availability* yang disepakati dalam kontrak perawatan ;
- b. Harga komponen ;
- c. Biaya tenaga kerja ;
- d. Biaya perbaikan ;

Pengolahan Data

Data yang perlu dikumpulkan dalam perhitungan biaya perawatan dengan sistem kontrak adalah sebagai berikut :

- Jadwal perawatan yang dilakukan terhadap alat berat yang diteliti
- Data waktu kapan terjadi kerusakan dan penggantian komponen, serta lama perbaikan yang dilakukan untuk mengatasi masalah kerusakan
- Data mengenai biaya : baik biaya tenaga kerja, biaya suku cadang penggantian serta biaya yang timbul akibat kerusakan alat berat

Adapun proses pengolahan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menganalisa data kerusakan secara statistik dan menentukan distribusi yang sesuai. Untuk menentukan distribusi kerusakan dan *downtime* alat dilakukan uji kesesuaian distribusi dengan menggunakan software SPSS 16.0. Uji kesesuaian pada software ini menggunakan uji P-P Plot.
2. Menghitung ekspektasi jumlah kerusakan.
3. Menghitung ekspektasi total biaya jasa perawatan berdasarkan ekspektasi *downtime* yang terjadi.
4. Melakukan perhitungan total yang timbul karena kerusakan yang terjadi. Total biaya ini merupakan akumulasi dari penggantian komponen dan biaya tenaga kerja untuk perbaikan.
5. Melakukan analisis estimasi dan pembahasan total biaya jasa perawatan dengan sistem kontrak.

Pemodelan kerusakan

Kerusakan alat dapat dimodelkan dengan pendekatan *black box*, yaitu alat pada setiap titik waktu memiliki status rusak atau baik. Jika terjadi kerusakan terhadap alat maka tindakan yang dilakukan adalah melakukan CM (*Corrective maintenance*). Kerusakan yang terjadi pada alat bersifat acak, oleh karena itu akan dilakukan analisa ekspektasi alat tersebut mengalami kerusakan pada interval waktu tertentu.

Jika $N(t)$, $t \geq 0$ adalah jumlah kejadian kerusakan alat dan diambil minimal repair selama interval $(0,t)$, maka $N(t)$ akan menunjukkan jumlah CM. Berdasarkan hal diatas $\{N(t), t \geq 0\}$ adalah kerusakan alat selama interval $(0,t)$ yang terjadi secara *Non Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan fungsi inten-

sitas $r(x)$. Ekspektasi jumlah CM selama interval $(0,\tau)$ dapat dirumuskan :

$$E[N(\tau)] = R(\tau) = \int_0^\tau r(x) dx \quad (4.1)$$

dimana $r(x)$: fungsi intensitas kerusakan.

Sedangkan probabilitas terjadinya j CM selama interval $(0, \tau)$ adalah :

$$H_j(\tau) = P(N(\tau) = j) \quad (4.2)$$

$$H_j(\tau) = \frac{(R(\tau))^j}{j!} e^{-R(\tau)} \quad (j=0,1,2,\dots) \quad (4.3)$$

Downtime Alat

Downtime adalah jangka waktu dimana alat tidak berfungsi. Terjadinya *downtime* disebabkan karena alat sedang mengalami kerusakan atauun alat sedang dilakukan perawatan. Total *downtime* adalah waktu yang diperlukan untuk memperbaiki peralatan sampai dapat digunakan kembali dan waktu yang diperlukan untuk melakukan perawatan sampai alat beroperasi lagi. Jadi ekspektasi terjadinya *downtime* selama periode tertentu adalah : Ekspektasi waktu untuk CM + Ekspektasi waktu untuk PM

Dengan mengetahui ekspektasi total *downtime* alat selama satu periode maka dapat ditentukan ekspektasi dari biaya *penalty*. Dari ekspektasi CM dan PM selanjutnya akan ditentukan pula ekspektasi besarnya biaya melakukan CM dan PM pada interval waktu pelaksanaan kontrak.

Ekspektasi *downtime* yang disebabkan CM

Waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan mesin yang mengalami kerusakan (CM) akan bersifat acak. *Downtime* alat karena CM merupakan variable acak yang berdistribusi identik dan independen dengan fungsi distribusi $D(x) : D(x) = P(X_i \leq x)$ (4.4)

Kumulatif *downtime* alat sampai dengan j CM adalah :

$$C_j = \sum_{i=0}^{Nt} (X_i) \quad (4.5)$$

$N(t)$ merupakan Non Homogenous Poisson Process. Ekspektasi lama *downtime* dirumuskan:

$$E[(X)] = \int_0^\infty [1 - D(x)] dx \quad (4.6)$$

Sehingga ekspektasi total waktu *downtime* :

$$E[C(t)] = \int_0^t r(x) dx \int_0^\infty [1 - D(x)] dx \quad (4.7)$$

Downtime alat karena PM

Pada saat PM status alat adalah pada kondisi *down* dan lama alat berada pada kondisi tersebut bersifat konstan. Jika $P(t)$ adalah total lama alat berstatus *down* yang disebabkan kejadian PM sampai dengan saat t , yang dinyatakan sebagai k . *Downtime* alat yang disebabkan PM sampai dengan saat t adalah :

$$P(t) = k \quad (4.7)$$

Misal $D(t)$ adalah total lama alat berada pada status *down*, maka :

$$\begin{aligned} D(t) &= C(t) + P(t) \\ D(t) &= C(t) + k \end{aligned} \quad (4.8)$$

Ekspektasi *downtime*, $ED(t)$ dapat dirumuskan :
 $E[D(t)] = E[C(t)] + k$

$$E[D(t)] = \int_0^t r(x)dx + \int_0^t [1 - G(x)]dx + k \quad (4.9)$$

Jika ekspektasi total *downtime* alat telah diketahui sebesar $D(T)$, maka ekspektasi biaya *penalty* dapat diprediksi. *Penalty* terjadi jika *availability* aktual alat selama interval $(0,t)$, yaitu $A(t)$ lebih kecil dari jaminan *availability* sebesar 94%. Jika dijadikan perumusan maka :

$$\frac{t-D(T)}{t} < 0.94 \quad D(t) > A \quad (4.10)$$

Dari persamaan 4.8 dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} P\{D(t) < x\} &= P\{C(t) + k < x\} \\ FD(x) &= P\{D(t) < x\} = P\{C(t) < x-k\} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Jika persamaan tersebut disubstitusikan ke distribusi $D(x)$ maka persamaan diatas dapat dituliskan sbb:

$$FD(x) = \sum_{j=0}^{\infty} D^j(x-k) \frac{\{R(t)\}^j}{j!} e^{-R(t)} \quad (4.12)$$

Maka probabilitas terjadinya *penalty* adalah :

$$P\{D(T) > A\} = \int_A^t d FD(x) = \int_A^t fD(x)dx \quad (4.13)$$

Ekspektasi besar *penalty* dinyatakan dengan :

$$P\{D(t) > A\} = \int_A^t (x-A) FD(x)dx \quad (4.14)$$

Parameter Biaya Jasa Perawatan

Total biaya jasa perawatan dirumuskan dengan :

$$TC = C_{PM} + C_{CM} + C_L + C_{SP} + C_P \quad (4.15)$$

Keterangan :

- TC : Total Biaya Perawatan
- C_{PM} : Biaya *Preventive Maintenance*
- C_{CM} : Biaya *Corrective Maintenance*
- C_L : Biaya tenaga kerja
- C_{SP} : Biaya penggantian komponen
- C_P : Ekspektasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diambil merupakan data sekunder dari unit alat berat yang menjadi obyek penelitian yang berada dibawah kontrak jasa perawatan. Data tersebut adalah data perawatan aktual perawatan. Data dikumpulkan berasal dari Bulan September 2006 sampai dengan April 2010. Data yang akan digunakan untuk mencapai tujuan studi adalah umur peralatan, *downtime*, deskripsi pekerjaan dan biaya perawatan.

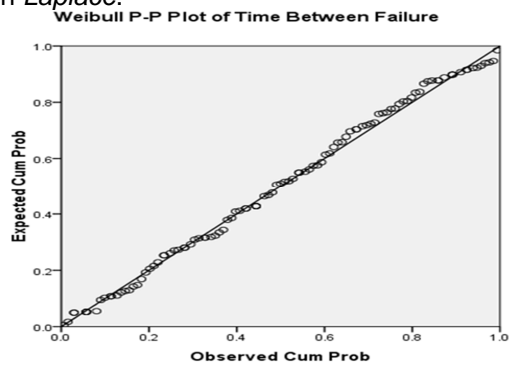
Penghitungan waktu antar kerusakan dan *downtime* alat

Kerusakan alat dimodelkan dengan pendekatan *black box*, yaitu alat pada setiap titik

waktu hanya memiliki status rusak atau baik. Waktu antar kerusakan alat dihitung sebagai waktu antar kejadian kerusakan yang berurutan. Selama pemakaian, alat dapat berada dalam status *service*, *standby*, dan *down*. Berdasarkan hal itu, untuk mendapatkan data yang akurat, data pemakaian (*hour SMU*) digunakan untuk perhitungan waktu antar kerusakan alat.

Penentuan distribusi kerusakan alat.

Untuk menentukan distribusi kerusakan dan *downtime* alat dilakukan uji kesesuaian distribusi dengan bantuan *software* SPSS 16.0. *Probability plot* secara umum digunakan untuk menentukan apakah distribusi dari sebuah variabel sesuai dengan distribusi yang diberikan.. Sumbu horizontal pada *Probability Plot* adalah nilai *probability* dari data aktual yang diinput, sedangkan sumbu vertikalnya adalah *probability* dari distribusi yang diuji. Jika distribusi yang dipilih sesuai maka kelompok titik pada grafik yang terbentuk akan berada pada sekitar garis lurus. Pilihan distribusi yang tersedia diantaranya adalah distribusi Normal, *Gamma*, *Ekspensial*, *Lognormal*, *Weibull*, *Log Normal*, *Chi Square* dan *Laplace*.

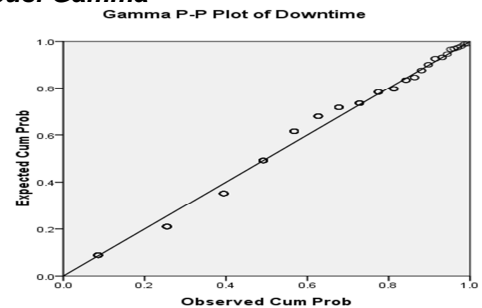


Gambar 1. P-P Plot untuk hasil uji kesesuaian distribusi Weibull

Tabel 1. Hasil perhitungan parameter distribusi Weibull

		Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
Weibull Distribution	Scale	318.214	352.752	333.790	290.985	295.598
	Shape	1.112	1.145	1.035	.950	1.126

Distribusi Gamma



Gambar 2. P-P Plot untuk hasil uji kesesuaian distribusi Gamma

Nilai estimasi parameter distribusi eksponensial terdapat pada tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Hasil perhitungan parameter *downtime* berdistribusi Gamma

Estimated Distribution Parameters		<i>Downtime</i>
<i>Gamma Distribution</i>	<i>Shape</i>	3.076
	<i>Scale</i>	1.087

Perusahaan beroperasi penuh selama 24 jam dan 365 hari. Akan tetapi alat berat dalam satu hari bekerja selama 22 jam (2 jam untuk pengisian bahan bakar, pergantian shift dan pengecekan harian). Berdasarkan kondisi tersebut maka total jam kerja dari alat berat dalam satu tahun adalah 22 jam/hari x 365 hari = 8030 jam operasi. Sesuai kesepakatan kontrak maka alat harus tersedia selama 94% dari total jam operasi yang tersedia selama satu tahun yaitu 94% x 8030 jam = 7548,2 jam.

PT ABC tidak akan terkena *penalty* jika tingkat *availability* alat minimal 92%. Artinya toleransi maksimum alat berat mengalami *downtime* tanpa terkena *penalty* adalah 8030 jam - 7548,2 jam = 481,8 jam.

Ekspektasi jumlah kerusakan

Jika waktu antar kejadian kerusakan alat berdistribusi Weibull maka fungsi intensitas alat diberikan oleh persamaan 2.6. Selanjutnya persamaan 2.6 disubstitusikan ke persamaan 4.1 diperoleh hasil bahwa selama selang waktu (0,t) atau 2000 jam operasi dapat terjadi 7.2 kali kerusakan alat. Karena dalam satu tahun terdapat 8030 jam operasi maka ekspektasi jumlah kerusakan (CM) pertahun adalah:

$$CM = \frac{8030}{2000} \times 7,2 = 28,9 \approx 29 \text{ kali}$$

Ekspektasi total *downtime*

Downtime alat berat yang disebabkan karena CM berdistribusi Gamma. Dengan menggunakan persamaan 2.9 yang disubstitusikan ke persamaan 4.6 diperoleh bahwa ekspektasi waktu yang diperlukan untuk satu kali *downtime* adalah 3.3 jam. Sedangkan *downtime* alat yang disebabkan karena PM konstan sebesar 80 jam. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan waktu standard yang ditetapkan oleh pihak seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Nilai 80 jam ini mensubstitusikan *k* pada persamaan 4.7. Ekspektasi total *downtime* alat, baik yang disebabkan karena CM maupun PM selama (0,t) dianalisis dengan menggunakan persamaan 4.9 dan menghasilkan nilai sebesar :

$$\text{Total } \textit{downtime} = \frac{3,3 \text{ jam}}{\textit{Downtime}} \times 7,2 \text{ Downtime} + 112 \text{ jam} = 135,8 \text{ jam}$$

Tabel 3. Alokasi waktu untuk melakukan kegiatan PM pada PT ABC

Jenis PM	Waktu (jam)	Jumlah kegiatan setiap 2000 jam	Total waktu diperlukan (jam)
250	6	8	48
500	8	4	32
1000	10	2	20
2000	12	1	12
Total			112

Sumber : PT "ABC" Banjarmasin

Ekspektasi biaya *penalty*

Ekspektasi biaya *penalty* dengan tingkat *availability* 94% diperoleh dari persamaan 4.14 dengan mensubstitusikan A = 0.06 x 2000 jam = 120 jam. Dikarenakan dalam satu tahun jam kerja alat adalah sebesar 8030 jam sedangkan rentang waktu perhitungan ekspektasi adalah per 2000 jam maka ekspektasi total *downtime* selama satu tahun adalah:

$$DT = \frac{8030}{2000} \times 135,8 = 545,24 \text{ jam}$$

Ekspektasi jumlah jam terjadinya *penalty* :

$$\begin{aligned} \textit{Penalty} &= \textit{Jumlah total } \textit{downtime} \\ &\quad - \textit{toleransi } \textit{downtime} \\ &= 545,2 \text{ jam} - 481,8 \text{ jam} = 63,4 \text{ jam} \end{aligned}$$

Apabila biaya *penalty* adalah 52 USD (1 USD = Rp 10.000,-) perjam maka selama rentang waktu satu tahun agen akan terkena *penalty* sebesar 63,4 jam x 52 USD x Rp10.000,-/USD = Rp 32.968.000,- pertahun

Ekspektasi total biaya jasa perawatan

Total biaya PM dapat dirumuskan sebagai penjumlahan biaya setiap jenis PM yang besarnya telah ditentukan oleh perusahaan. Kebijakan PM yang diberlakukan terdiri dari 3 macam yaitu PM 250, PM 500, PM 1000 dan PM 2000. Karena jumlah dan biayanya sudah ditetapkan maka biaya PM tergantung pada frekuensi pelaksanaan setiap jenis PM

Biaya rata-rata CM alat selama selang (0,t) digunakan sebagai pendekatan dalam menentukan biaya satu kali CM. Sedangkan untuk biaya tenaga kerja dan biaya *penalty* per unit *downtime* besarnya ditetapkan oleh perusahaan.

Biaya penggantian komponen merupakan penjumlahan dari biaya penggantian komponen mayor dan minor. Penggantian komponen dilakukan secara periodik.

Pembahasan

Untuk mengetahui kesesuaian model dengan biaya perawatan sebenarnya, hasil estimasi total biaya jasa perawatan yang diperoleh diatas akan dibandingkan dengan biaya rata-rata aktual PT ABC. Pada tabel 5 disajikan biaya perawatan aktual.

Selisih harga antara hasil estimasi total biaya perawatan terhadap rata-rata biaya perawatan aktual pertahun PT ABC dengan

memperhitungkan ekspektasi biaya *penalty* adalah sebesar Rp 239.211.000,-. Jika nilai estimasi ini dikurangi dengan ekspektasi biaya *penalty*, maka selisih estimasi total biaya jasa perawatan dengan rata-rata biaya aktual pertahun adalah sebesar Rp 32.968.000,-

Tabel 5.4 Biaya estimasi total perawatan alat berat

Biaya	Ekspektasi selama 2000 jam	ekspektasi selama pertahun	Biaya per kegiatan (Rp)	
PM				
1. PM 250	4 kali	16 kali	1.662.000,-	53.184.000,-
2. PM 500	2 kali	8 kali	1.018.000,-	28.800.000,-
3. PM 1000	1 kali	4 kali	2.124.000,-	16.992.000,-
4. PM 2000	1 kali	4 kali	3.566.000,-	14.264.000,-
CM				
Penalti	9.9 jam	29 kali 39.9 jam	3.207.000,- 520.000,-	93.003.000,- 32.968.000,-
Total biaya perawatan pertahun				239.211.000,-

Tabel 5.5 Biaya Perawatan Aktual (dalam ribu rupiah)

Tahun	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Rata-rata /alat berat
2007	200.897,4	179.806,5	187.643,1	198.003,6	210.987,7	195.467,5
2008	254.111,7	187.953,9	257.098,4	178.313,2	190.398,7	213.575,2
2009	298.756,4	181.172,3	205.987,3	254.947,7	225.341,3	233.241,0
Rata-rata total biaya perawatan pertahun						214.094,6

Tabel 5.6 Perbandingan Estimasi Total Biaya Jasa Perawatan

Biaya Aktual	Biaya pertahun	Selisih relatif dengan aktual
Perkiraan biaya dengan <i>penalty</i>	Rp 239.211.000,-	11,7%
Perkiraan biaya tanpa <i>penalty</i>	Rp 206.243.000,-	-4%
Biaya Aktual	Rp 214.094.600,-	0

Biaya yang disepakati dalam perawatan sistem kontrak merupakan hasil negosiasi antara pihak penyedia jasa perawatan yaitu PT ABC dan konsumen, yaitu pihak yang memanfaatkan jasa perawatan. Karena sifatnya negosiasi maka besarnya biaya kontrak tidak sama antara kontrak dengan perusahaan yang satu dengan yang lain. Ada beberapa faktor lain yang juga mempengaruhi besarnya kontrak yang disepakati diluar faktor yang dibahas dan dihitung dalam penelitian ini. Faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan tersebut diantaranya adalah:

1. Faktor lokasi dimana *haul truck* beroperasi
2. Faktor kondisi tempat operasional alat.
3. Faktor fasilitas tambahan, misalnya penyediaan workshop khusus pada area, fasilitas training bagi operator alat berat.
4. Faktor jumlah alat berat yang dirawat.
5. Faktor subyektifitas terhadap konsumen.

Parameter Biaya Jasa Perawatan

Sebagaimana terdapat pada persamaan 4.15 dan hasil pengujian dan perhitungan distribusi kerusakan dan *downtime* alat berat jenis *haul truck*, parameter yang menentukan besarnya kontrak perawatan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Biaya *Preventive Maintenance (PM)*
2. Biaya *Corrective Maintenance (CM)*
3. Biaya tenaga kerja (TK)
4. Biaya penggantian komponen (CSP)
5. Ekspektasi biaya *penalty (PT)*

Besarnya biaya PM merupakan jumlahan yang tetap untuk masing masing jenis PM. Jika biaya untuk melakukan PM jenis m adalah CPM maka total biaya untuk melakukan PM adalah :

$$PM = \sum_{m=1}^M n_m \cdot CPM$$

Besarnya biaya CM dipengaruhi oleh besarnya dipengaruhi oleh tingkat ekspektasi terjadinya CM dan besaran biaya untuk melakukan CM. Jika rata-rata besarnya biaya CM adalah k maka besarnya biaya CM adalah :

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}}$$

$$CM = E[N(\tau)] \times k$$

$$= R(\tau) \times k = \int_0^{\tau} (\lambda \, dx) \cdot k$$

Distribusi kerusakan yang mengikuti distribusi Weibul akan diperoleh persamaan untuk menentukan CM adalah sbb:

$$CM = \int_0^t \frac{f(t)}{R(t)} \cdot (k) = \int_0^t \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \cdot (k)$$

Penggantian komponen akan tergantung pada tingkat reabilitas (keandalan) dari suatu komponen dan masing-masing komponen memiliki tingkat keandalan yang berbeda-beda.

Besarnya biaya tenaga kerja dipengaruhi oleh jumlah kegiatan dan jenis PM yang dilakukan serta jumlah dan ekspektasi dari terjadinya *downtime*. Jika biaya tenaga kerja per jam dinyatakan dengan j maka besarnya biaya tenaga kerja dengan *downtime* yang terdistribusi Gamma adalah sebesar :

$$CTK = (E[N(\tau)] \cdot E(t) + Tn)(j)$$

Dimana :

$E[N(\tau)]$ adalah ekspektasi jumlah terjadinya CM
 $E(t)$ adalah ekspektasi lamanya tiap kali CM
 Tm adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan kegiatan PM jenis m.

Untuk *downtime* yang terdistribusi Gamma :

$$E(t) = \alpha \cdot \beta$$

Sehingga besarnya perkiraan biaya tenaga kerja adalah :

$$CTK = \left(\left(\int_0^t \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \right) \cdot \alpha \cdot \beta + Tn \right) (j)$$

Jika besaran penalty persatuan waktu adalah bp maka besarnya biaya penalty yang harus dibayarkan dapat dirumuskan dengan:

$$EPT = bp E [D(t) > Availability]$$

$$EPT = bp \left(\left\{ \int_0^t \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} \right\} \alpha \cdot \beta + tPM \right) - A$$

Dimana :

bp : besaran penalty per jam, tPM : total waktu yang diperlukan untuk melakukan PM dan A ; Total *availability* yang dijanjikan/sepakati.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian mengenai estimasi biaya jasa perawatan peralatan berat haul truck pada PT ABC Banjarmasin dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Parameter yang sangat menentukan besar nilai kontrak adalah sbb :
 - a. Biaya *Preventive Maintenance*
 - b. Biaya *Corrective Maintenance*
 - c. Biaya tenaga kerja
 - d. Biaya penggantian komponen
 - e. Ekspektasi biaya *penalty*
 - f. Tingkat *availability*
2. Estimasi biaya jasa perawatan alat berat dengan pendekatan keandalan mempertimbangkan pola kerusakan alat berat. Berdasarkan analisis kecenderungan distribusi kerusakan peralatan dan uji kesesuaian distribusi, model kerusakan peralatan ditentukan berdistribusi Weibull. Ekspektasi biaya kerusakan alat adalah sebanyak Rp 239.211.000,- pertahun. Ekspektasi total waktu *penalty* sebesar 63,4 jam dengan biaya *penalty* sebesar Rp 32.968.000,-pertahun sedangkan hasil estimasi total biaya jasa perawatan pertahun tanpa *penalty* adalah sebesar Rp 206.243.000,-

6.1. Saran

1. Hasil estimasi total biaya perawatan dengan memperhitungkan ekspektasi biaya *penalty* yang diperoleh dapat dijadikan sebagai salah satu referensi dalam mengevaluasi kebijakan perawatan yang ditetapkan oleh perusahaan
2. Diharapkan agar ketelitian dalam pencatatan setiap kerusakan yang terjadi pada alat. Hal ini agar data yang diperoleh dapat digunakan sebagai basis data yang akurat untuk menganalisa pola kerusakan dan *downtime* alat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bank Indonesia. (2008). *Kajian Ekonomi Regional Kalimantan Selatan Triwulan II-2008*. Banjarmasin. h. 13
2. Borghers, Wessa. (2009). *Statistics - Econometrics - Forecasting, Office for Research Development and Education*, Xycoon, Paris
3. Bentley, John. (1999). *Reability & Quality Engineering*. Prentice Hall. Harlow
4. Campbell J. D , (1995). "Outsourcing in Maintenance Management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol 1, No 3, 18-21.
5. Caterpillar Inc. (2004). *Caterpillar Performance Handbook.*, Edition 34th. Illinois
6. Caterpillar. Inc. (2005). *Heavy Equipment Maintenance Managemen*. Illinois
7. Eti, Mc. Ogaji S.O.T and Probert S.D,(2006), "Development and Implementation of Preventive-Maintenance Practices in Nigerian Industries", *Applied Energi*, Vol. 83, Issue 10, p.1163- 1179
8. Hilier and Lieberman, (2001), "*Introduction to Operations Research. 7th Edition*", McGraw-Hill Inc , New York
9. Jackson, Canek. (2008). *Optimal Negotiation of Maintenance Contracts Under Several Failure Processes*. Santiago, Chile
10. Murthy & Azgarizadeh, E (1998). "A Stockastic Model for Service Contract", *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol 5 No 1,p 29-45
11. Portland Energy Conservation Incc (PECI).(1997). "*Operation and Maintenance Service Contracts*". Portland
12. Rahman, A. and Chattopadhyay. G, (2002), "Cost Estimation for Maintenance Contracts for Complex Asseti Equipment" , *Proceeding of the 2008 IEEE IEEM*. Gladstone.
13. Siregar, Rosman. (2002), Menentukan Keandalan pada Model *Stress-Strength* dari Satu Komponen, USU *Digital Library*, Medan
14. Sodikin, Imam. (2008). Penentuan Interval Perawatan Preventif Komponen Elektrik dan Komponen Mekanik yang Optimal pada Mesin Excavator Seri PC 200-6 dengan Pendekatan Jardine. *Jurnal Teknologi*. Vol 1 no 2
15. Soepardi, Apriani, (2002), "Pemodelan Stokastik untuk Jasa Perawatan Peralatan", *Jurnal Teknologi Industri*, Vol. VI, No. 3, Juli 2002: 147 -152. Yogyakarta.