

Model Simulasi Penentuan Unit Kendaraan Cadangan pada Armada Komuter CT

Kusmaningrum Soemadi ⁽¹⁾, Rhazi Aditya Pratama ⁽¹⁾, Cahyadi Nugraha ⁽¹⁾, Chandra Ade Irawan ⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung ⁽²⁾ Centre for Operational Research and Logistics, Department of Mathematics, University of Portsmouth, UK

⁽¹⁾ kusmaningrum@itenas.ac.id

ABSTRAK

Armada komuter CT terdiri dari sejumlah unit kendaraan yang dioperasikan dan sejumlah unit kendaraan yang dicadangkan. Kendaraan cadangan identik dengan biaya untuk investasi dan pemeliharaan yang tidak menghasilkan pendapatan langsung sebagaimana unit yang dioperasikan. Untuk itu penentuan jumlahnya perlu dikaji. Model simulasi diusulkan untuk menentukan jumlah unit cadangan yang diperlukan untuk memenuhi suatu ambang kinerja tingkat keberhasilan keberangkatan. Model meniru keberangkatan dan kedatangan kendaraan yang dioperasikan, dengan mempertimbangkan waktu antar kejadian kerusakan, waktu tempuh perjalanan, dan penyelesaian perbaikan yang kesemuanya berperilaku stokastik. Simulasi digunakan untuk mengkaji pengaruh penambahan unit cadangan terhadap kinerja keberhasilan keberangkatan, rerata utilisasi, dan rerata standby yang dapat menjadi pertimbangan dalam menyusun rencana kontingensi perusahaan.

Kata kunci— Keberhasilan keberangkatan, Simulasi, Unit cadangan

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jasa komuter Bandung-Jakarta cukup signifikan baik dari sisi jumlah penyelenggara, jumlah armada, maupun lokasi titik asal dan tujuan perjalanan di kedua kota tersebut. CT sebagai salah satu penyelenggara jasa transportasi komuter Bandung-Jakarta, dalam menghadapi situasi persaingan berusaha meningkatkan kualitas pelayanannya. Salah satu ukuran kualitas pelayanan komuter adalah ketepatan waktu keberangkatan dan waktu kedatangan. Armada CT terdiri dari unit kendaraan operasi dan unit kendaraan cadangan. Penyediaan cadangan ditujukan untuk menekan ekspektasi tingkat kegagalan keberangkatan yang dapat timbul oleh sejumlah ketidakpastian dalam pengoperasian armada. Unit kendaraan cadangan identik dengan investasi yang tidak menghasilkan pendapatan sebagaimana unit yang dioperasikan karena lebih banyak menganggur sedangkan pengeluaran seperti asuransi, pemeliharaan, dan sebagainya tetap harus dibiayai. Untuk itu perlu dikaji jumlah cadangan yang perlu disediakan.

Sistem transportasi mempunyai stuktur yang kompleks, kinerja sistem dapat melemah oleh berbagai faktor seperti halnya kondisi kendaraan, jaringan komunikasi dan kondisi jalan, serta kepadatan lalu lintas (Walkowiak, Mazurkiewicz, 2009). Upaya meningkatkan keandalan dapat dilakukan dengan menyediakan unit cadangan (*redundant unit* atau *stand-by unit*) yang segera dioperasikan untuk mengambil alih fungsi dari unit yang mengalami kerusakan (Soltani, 2011). Proporsi jumlah kendaraan cadangan terhadap jumlah kendaraan yang dioperasikan pada beban maksimum didefinisikan sebagai *spare ratio* (Klein, 2002), dan *spare ratio* sebesar 20% telah diterapkan di Amerika terhadap industri bis antar kota yang memiliki armada 50 kendaraan atau lebih (Pierce & Moser, 1995). Semakin tinggi *spare ratio* maka ketersediaan armada yang siap operasi meningkat namun juga mengakibatkan inefisiensi. Terdapat banyak faktor yang memicu kebutuhan unit cadangan, antara lain kilometer jarak pengoperasian, keandalan kendaraan, efisiensi bengkel inspeksi/perbaikan, ketersediaan suku cadang, dan perioda pengoperasian. Penelitian mengenai unit cadangan pada sistem transportasi antara lain telah dikembangkan dengan mempertimbangkan *redundancy* pengemudi dan jumlah truk (Mazurkiewicz dan

Walkowiak, 2012), serta laju kerusakan dan waktu perbaikan pada armada kereta api (Thesome, 2012). Berbagai pustaka diatas mengkaji sistem dengan laju kerusakan konstan dan menghasilkan model matematis yang kompleks untuk diaplikasikan. Model analitis umumnya terkendala oleh sejumlah asumsi sehingga mempunyai keterbatasan untuk mengabstraksikan sistem riil secara rinci. Permasalahan pada sistem dengan laju kerusakan yang meningkat adalah lebih kompleks dan sulit didekati menggunakan model analitis. Maka penggunaan simulasi lazim dilakukan dan merupakan alternatif pengganti metoda analitis pada lingkup ilmu keandalan (Kaya, 2012). Kinerja sistem transportasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yang bersifat random. Untuk mengendalikannya perlu dipahami pengaruh kombinasi beberapa faktor tersebut terhadap ukuran kinerja sistem yang diharapkan. Beberapa kajian simulasi pada sistem transportasi antara lain bertujuan untuk menyeimbangkan antara ketersediaan dan permintaan mobil ambulans (Wu dan Hwang, 2009), menentukan sumber daya perawatan armada bis guna memberikan pelayanan pada periode beban puncak (Ramadass et al., 2004), pemilihan spare ratio yang layak (Iskander et al., 1989), menganalisis situasi kritis akibat kekurangan pengemudi, peningkatan volume kiriman barang, dan akumulasi jumlah kontainer yang tertunda (Mazurkiewicz dan Wakowiak, 2012).

Dalam penelitian ini dikembangkan model simulasi pengoperasian komuter CT. Model ditujukan untuk mendukung keputusan penentuan kebutuhan jumlah unit cadangan dengan mempertimbangkan beberapa situasi tanggap darurat/mitigasi yang dapat terjadi. Selanjutnya makalah dikembangkan dengan sistematika penulisan sebagai berikut. Pada Bagian 2 dikemukakan pengembangan model simulasi. Selanjutnya di Bagian 3 validasi model simulasi, disajikan dan di Bagian 4 skenario dan hasil simulasi. Kesimpulan disajikan di Bagian 5.

II. PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI

Kantor pusat CT terletak di jalan Dipati Ukur, Bandung juga berfungsi sebagai titik keberangkatan atau kedatangan. Selain itu terdapat titik keberangkatan atau kedatangan lain, di jalan Cihampelas, dan titik tambahan pengambilan penumpang di Pasteur. Di Jakarta titik keberangkatan atau kedatangan tersebar di enam lokasi. Jadwal keberangkatan kendaraan di ke delapan titik keberangkatan dimulai pukul 05.00 hingga pukul 22.00. Kedua titik keberangkatan di Bandung melayani titik tujuan yang berbeda. Dipati Ukur melayani empat titik tujuan sedangkan Cihampelas melayani dua titik tujuan lainnya. Keberangkatan kendaraan di setiap titik baik Bandung maupun Jakarta dilakukan setiap tiga puluh menit sekali, dimulai pukul 05.00 – 22.00, Terdapat pengecualian untuk memenuhi kebutuhan jumlah penumpang pada hari-hari tertentu; hari Senin dimulai pukul 04.00, Jum'at sampai dengan Minggu diakhiri pukul 23.00. Mobil dijadwalkan berangkat dari satu titik keberangkatan menuju titik tujuan dan kembali lagi ke titik keberangkatan semula. Sesuai jadwal setiap kendaraan melakukan empat hingga lima keberangkatan per hari sehingga dari ke delapan titik tersebut jumlah total keberangkatan per hari mencapai 432 kali. Untuk melayani seluruh jadwal keberangkatan dibutuhkan 96 unit kendaraan. Saat ini terdapat 100 kendaraan, dan 4 unit dialokasikan sebagai cadangan. Cadangan difungsikan bila terjadi salah satu hal berikut; kerusakan unit yang dioperasikan, keterlambatan perjalanan kendaraan sehingga belum tersedia pada jadwal keberangkatan berikutnya, atau perbaikan atau servis unit kendaraan belum rampung sehingga tidak dapat diberangkatkan sesuai jadwalnya. Kejadian kerusakan kendaraan merupakan kejadian probabilistik. CT memiliki kontrak dengan bengkel service resmi pemegang merk untuk melakukan tindakan perawatan dan perbaikan armada di luar waktu operasional kendaraan, yaitu pada malam hari sesudah jam 24.00. Selain itu pada jam operasional tersedia montir untuk melakukan tindakan perbaikan kerusakan ringan di titik keberangkatan. Pengemudi juga dibekali kemampuan untuk mengatasi kerusakan ringan di tengah perjalanan, dan pada situasi kerusakan tertentu penumpang dipindahkan ke kendaraan yang dikirimkan cadangan dari titik keberangkatan unit yang rusak tersebut. Simulasi operasi CT dimodelkan menggunakan input deterministik yang meliputi jadwal keberangkatan, jumlah kendaraan, jarak antar titik keberangkatan /kedatangan di kedua kota. Sedangkan input stokastik direpresentasikan oleh distribusi waktu tempuh perjalanan, fungsi laju kerusakan kendaraan, dan distribusi waktu penyelesaian perbaikan. Ketiga input stokastik yang menjadi dasar pembangkitan bilangan random dikembangkan dalam bagian berikut.

A. Lama Perjalanan

Jarak tempuh antara berbagai titik keberangkatan dan titik tujuan diperoleh dari perangkat lunak Google Earth, yang memberikan jarak maksimum sebesar 157 km (Dipati Ukur –Bintaro) dan jarak minimum 142 km (Cihampelas-Kuningan) dengan rata-rata 150.5 km. Informasi lama perjalanan di antara berbagai titik tersebut berkisar antara 3 jam sampai dengan 4 jam. Tidak terdapat data waktu perjalanan yang diperoleh dari pengukuran langsung sehingga informasi tersebut dipergunakan untuk melakukan estimasi parameter distribusi. Salah satu distribusi yang dapat dipakai bila data yang diperlukan kurang adalah distribusi Beta (Law & Kelton, 2000), yang banyak digunakan untuk mengestimasi durasi aktivitas konstruksi (Fente et al. 1999) dan dalam penelitian ini dipilih untuk merepresentasikan distribusi waktu keterlambatan perjalanan. Diasumsikan keterlambatan kedatangan minimal adalah minus 30 menit dan maksimal adalah 60 menit, dengan mode dari estimasi keterlambatan sebesar nol menit. Waktu tiba teoritis adalah waktu sampainya kendaraan dihitung setelah menit keberangkatan kendaraan ditambah waktu perjalanan ideal sebesar 180 menit. Waktu tiba aktual adalah waktu tiba teoritis ditambah waktu keterlambatan yang diperoleh dari penggunaan distribusi Beta tersebut. Waktu pemeriksaan kesiapan adalah 60 menit sebelum jadwal keberangkatan. Ditujukan untuk memeriksa baik kesiapan mobil dan pengemudi yang telah tiba dari titik keberangkatan sebelumnya. Mengingat pentingnya pemeriksaan tersebut maka ini keberhasilan keberangkatan didefinisikan terjadi bila suatu kendaraan telah tiba paling lambat 30 menit sebelum jadwal keberangkatan berikutnya.

B. Waktu Antar Kejadian Kerusakan

Terdapat dua merek kendaraan dalam armada CT, yakni Isuzu Elf dan Hino. Pengolahan data kilometer kejadian kerusakan dan perbaikan kedua merk kendaraan menghasilkan fungsi intensitas kerusakan yang meningkat terhadap waktu dan dapat diwakili oleh distribusi Weibull. Isuzu Elf memiliki parameter bentuk = 1.302 dan parameter skala 4487, sedangkan Hino memiliki parameter bentuk = 1.22 dan parameter skala 5163. Kedua jenis merek tidak sepenuhnya identik baik umurnya maupun trayek pengoperasiannya. Namun perbedaan waktu pembelian mobil, dan jarak antar berbagai titik keberangkatan dan titik tujuan relatif kecil sehingga waktu antar kerusakan mobil ke dua jenis merek diasumsikan dapat terwakili oleh distribusi tersebut. Menggunakan pendekatan ini pengaruh peningkatan pemakaian terhadap penurunan keandalan dapat diakomodasi dalam bentuk semakin singkatnya waktu antar kerusakan kendaraan yang dioperasikan sejalan dengan semakin tuanya umur kendaraan.

C. Waktu penyelesaian perbaikan

Estimasi waktu perbaikan kerusakan di tengah perjalanan diprediksi minimal 15 menit dan maksimal 1 jam, sedangkan estimasi waktu perbaikan di bengkel minimal adalah 2 jam dan maksimal 8 jam. Distribusi yang dipilih untuk kedua waktu perbaikan tersebut adalah Distribusi Triangular yang memiliki tiga parameter a , b , dan c , dimana a adalah lokasi parameter, $b-a$ adalah parameter skala, dan c adalah parameter bentuk. Menggunakan data estimasi tersebut di atas diperoleh nilai parameter distribusi waktu perbaikan kerusakan di tengah perjalanan adalah $a = 15$, $b = 60$, dan $c = 30$. Sedangkan parameter distribusi waktu perbaikan di bengkel adalah $a = 120$, $b = 480$, dan $c = 240$. Diasumsikan kejadian kerusakan kendaraan di tengah perjalanan selalu dapat diselesaikan sehingga kendaraan dapat sampai di tujuan meskipun terlambat. Kendaraan dikatakan terlambat jika, waktu tiba di titik tujuan melebihi jadwal waktu pemeriksaan jadwal keberangkatan berikutnya selama 30 menit.

D. Ukuran kinerja sistem

Ukuran performansi operasi komuter CT yang disimulasikan adalah kendaraan rata-rata keberhasilan keberangkatan dan rata-rata utilisasi dari keseluruhan. Rumus sederhana untuk menghitung kedua ukuran performansi tersebut dikembangkan menggunakan notasi berikut.

Notasi:

- | | | |
|-------|---|---|
| j | : | Nomor identitas kendaraan yang dioperasikan, $j = 1, 2, \dots, N$. |
| O_j | : | Jam operasi kendaraan j di suatu periode sama dengan waktu tiba aktual kendaraan j dikurangi waktu keberangkatan kendaraan j ditambah 0.5 jam |
| S_j | : | Masa <i>Standby</i> kendaraan j di periode i sama dengan jam tersedia dalam satu hari |

	dikurangi total masa operasi di perioda i
TBK_i	: Rata-rata keberhasilan keberangkatan
i	: Hari pengamatan simulasi, $i = 1, 2, \dots, n$
k	: Titik keberangkatan, $k=1, 2, \dots, 8$
G_{ik}	: Jumlah Gagal berangkat di periode i dari titik keberangkatan k
TBK_i	: Tingkat keberhasilan keberangkatan di perioda i
\overline{TBK}	: Rata-rata tingkat keberhasilan keberangkatan selama n perioda
U_i	: Utilisasi periode ke i
\bar{U}	: Rata-rata utilisasi selama n perioda

Total keberangkatan per hari adalah 432 maka perhitungan tingkat keberhasilan keberangkatan (TBK) diperoleh menggunakan sejumlah persamaan berikut.

$$TBK_i = \frac{432 - \sum_{k=1}^8 G_{ik}}{432} * 100\% \quad (1)$$

$$\overline{TBK} = \frac{\sum_{i=1}^n TBK_i}{n} \quad (2)$$

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^N O_j}{\sum_{j=1}^N O_j + \sum_{j=1}^N S_j} \quad (3)$$

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} * 100\% \quad (4)$$

Asumsi yang digunakan dalam perancangan model simulasi antara lain sebagai berikut :

1. Jadwal keberangkatan kendaraan dari titik keberangkatan yang sama dibedakan satu menit.
2. Kendaraan dikatakan terlambat jika waktu tiba aktual kurang dari 30 menit sebelum jadwal keberangkatan berikutnya.
3. Kejadian kerusakan kendaraan di tengah perjalanan selalu dapat diselesaikan sehingga kendaraan dapat sampai di tujuan meskipun terlambat.
4. Kendaraan operasi berubah menjadi cadangan jika terlambat dan kembali berstatus kendaraan operasi jika menggantikan kendaraan lain yang rusak atau terlambat.

E. Model simulasi

Model simulasi dikembangkan dengan bantuan software Visual Basic for Application (VBA). Konstruksi program dibangun oleh sejumlah subrutin. *Subrutin jadwal keberangkatan origin* berfungsi sebagai penentu jadwal keberangkatan kendaraan dari titik keberangkatan. Seluruh kejadian yang mungkin terjadi dibangkitkan saat kejadiannya dan diperoleh waktu keterlambatan perjalanan, kejadian kerusakan, dan lama waktu perbaikan. *Subrutin cek event* berfungsi memeriksa kejadian yang akan segera terjadi dalam simulasi berdasarkan waktu terkecil dalam setiap array yaitu, array kendaraan Bandung dan Jakarta, array jadwal keberangkatan Bandung dan Jakarta, array kendaraan dalam perjalanan Bandung dan Jakarta, dan array kendaraan dalam reparasi di Bandung dan Jakarta. *Subrutin cek kendaraan origin* dalam model simulasi utama berfungsi menentukan ketersediaan kendaraan di titik keberangkatan. Selain itu, subrutin ini berfungsi sebagai penjadwal kendaraan yang berangkat. *Subrutin perjalanan ke tujuan* berfungsi mensimulasikan keberangkatan kendaraan sesuai jadwal yang ditentukan *subrutin jadwal keberangkatan origin* serta hasil dari *subrutin cek kendaraan origin*. *Subrutin pool tujuan* mensimulasikan kedatangan kendaraan dari origin sesuai dengan jadwal tiba aktualnya. Pada simulasi ini, kendaraan yang sampai di tujuan ditentukan posisi arraynya sesuai statusnya. Bila kendaraan berstatus operasional, maka variabel kendaraan perjalanan akan masuk ke array kendaraan operasi tujuan sehingga menambah jumlah kendaraan operasional di tujuan, dan mengurangi jumlah kendaraan operasional di origin. Bila kendaraan berstatus *down*, kendaraan masuk array reparasi dan baru dioperasikan setelah selesai di reparasi. *Subrutin selesai reparasi origin* mengembalikan status kendaraan yang mengalami perbaikan menjadi cadangan. Pasca reparasi bila berstatus cadangan, maka kendaraan masuk ke array kendaraan cadangan dan jumlah kendaraan cadangan di tujuan bertambah..

III. VALIDASI MODEL SIMULASI

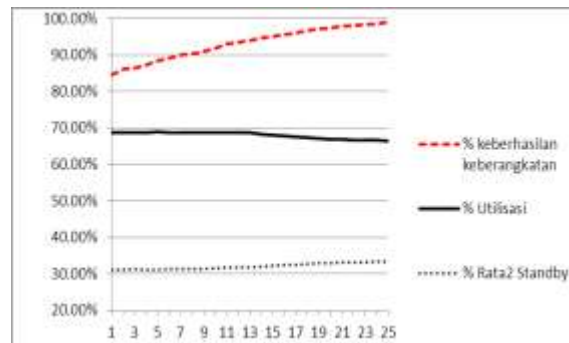
Terdapat dua jenis validasi model yaitu, validasi internal dan validasi external. Validasi internal biasa disebut dengan verifikasi dan validasi external biasa disebut validasi (Daellenbach, 1994). Dalam penelitian ini model telah diverifikasi secara internal terhadap input program, yakni dengan memeriksa keluaran program pada beberapa periode. Verifikasi dilakukan mulai dari i) jumlah kendaraan dalam armada, ii) jadwal keberangkatan di setiap titik keberangkatan, iii) kejadian yang akan terjadi pada model simulasi, hingga iii) perhitungan utilisasi hasil simulasi.

Hasil verifikasi menunjukkan bahwa jumlah kendaraan, lokasinya, dan statusnya konsisten dan sesuai dengan algoritma yang dikembangkan. Perilaku laju kerusakan yang meningkat akibat penuaan juga telah ditunjukkan dengan baik oleh rata-rata keberhasilan keberangkatan yang semakin rendah pada periode simulasi yang semakin panjang. Maka rangkaian logika dapat dianggap telah dibangun dengan benar dan kemudian model simulasi dijalankan pada beberapa skenario input. Hasil perhitungan utilisasi dari model simulasi adalah 73,579% sedangkan hasil dari perhitungan manual adalah 73,58%. Maka validasi internal untuk perhitungan utilisasi dapat dinyatakan valid. Proses validasi internal telah dilakukan terhadap keseluruhan komponen, sehingga model simulasi dapat dinyatakan valid dan dapat digunakan. Dalam penelitian ini validasi external terhadap model simulasi tidak dapat dilakukan karena tidak terdapat catatan di pihak perusahaan mengenai rata-rata utilisasi dan rata-rata kegagalan keberangkatan selama ini, sehingga tidak dapat dibandingkan terhadap ukuran performansi yang dihasilkan model.

IV. SKENARIO DAN OUTPUT MODEL SMULASI

Simulasi pengoperasian armada diterapkan untuk 720 hari, replikasi sebanyak sepuluh kali, pada sejumlah skenario unit cadangan (dicoba mulai dari 0 unit dan ditingkatkan hingga 24 unit). Pengambilan data hasil model simulasi dilakukan setelah mencapai kondisi *steady state*. Menggunakan metode moving average kondisi *steady state* didapati pada periode 161, hasil simulasi diambil mulai dari periode 161 sampai dengan periode 720, dan kemudian dikaji terhadap target kinerja keberhasilan keberangkatan tepat waktu sebesar 90%. Model simulasi menggunakan bilangan acak yang berbeda, sehingga hasilnya memiliki variansi. Analisis berpasangan dilakukan terhadap beberapa skenario terpilih untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan kinerja yang signifikan; yakni nilai utilisasi turun secara tidak signifikan dan tingkat keberhasilan keberangkatan naik secara signifikan. Analisis berpasangan juga dilakukan guna menjamin bahwa perbedaan nilai yang dihasilkan bukan dari pengaruh bilangan acak.

Hasil simulasi menunjukkan perilaku yang sesuai dengan yang diperkirakan. Meningkatnya unit cadangan, dan makin rendahnya intensitas kerusakan maka tingkat keberhasilan dan angka rerata standby juga meningkat, namun angka utilisasi menurun. Kinerja yang ditampilkan model simulasi dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menghasilkan kondisi yang diharapkan. Sebagai contoh bila nilai utilisasi hasil model simulasi di atas atau mendekati nilai utilisasi harapan, maka dipilih dengan nilai utilisasi di atas atau mendekati nilai utilisasi harapan dengan tingkat keberhasilan yang tinggi. Untuk mendapatkan gambaran hubungan jumlah cadangan, tingkat keberhasilan, tingkat utilisasi dan rerata standby pada Gambar 2 disajikan plot ketiga kinerja tersebut terhadap jumlah cadangan (0-24 unit). Pada Tabel 1 disajikan angka kinerja untuk 0, 6, 12, dan 24 unit cadangan. Dengan 4 unit cadangan seperti saat ini, tingkat keberhasilan keberangkatan tepat waktu mencapai 88.43%, sehingga masih terdapat sekitar 50 jadwal keberangkatan per hari yang mengalami keterlambatan. Untuk mencapai tingkat keberhasilan sebesar 90% diperlukan sedikitnya 6 unit cadangan.



Gambar 1 Kinerja Operasi Sistem terhadap Jumlah Unit Cadangan

Tabel 1 Kinerja Sistem Terhadap Jumlah Cadangan

Kinerja Sistem	Jumlah unit cadangan			
	0	6	12	24
% keberhasilan keberangkatan	87.4%	90.0%	94.0%	98.9%
% utilisasi	68.8%	68.7%	68.6%	66.5%
% rerata standby	31.2%	31.3%	31.9%	33.5%

V. PENUTUP

Model simulasi dikembangkan untuk menunjang keputusan manajemen CT dalam menentukan jumlah unit cadangan atas dasar pertimbangan kinerja keberhasilan keberangkatan tepat waktu sesuai target. Model menunjukkan validasi internal yang sangat baik. Dengan intensitas kerusakan kendaraan, waktu perjalanan, dan kapasitas bengkel perawatan yang dimiliki saat ini untuk mencapai 90% keberhasilan keberangkatan diperlukan 6 unit cadangan. Intensitas kerusakan, lama perjalanan, dan kecepatan perbaikan pengaruhnya signifikan. Saran penelitian lebih lanjut adalah mempertimbangkan investasi dan manfaat yang diperoleh dengan penyediaan unit cadangan. Model masih dapat dikembangkan untuk sistem generik, misalnya dengan menambahkan subrutin *update* data, sehingga perubahan intensitas kerusakan, data perawatan, maupun data perjalanan dapat dikelola dengan lebih mudah. Pemahaman perubahan perilaku stokastik yang terdapat pada sistem dan kemudahan penanganannya dapat memberikan nilai lebih, baik dalam pengambilan keputusan bagi pengguna model maupun untuk penelitian lebih lanjut.