



SEMINAR NASIONAL MESIN DAN INDUSTRI (SNMI6) 2010

"Peran Riset Bidang Teknik Mesin dan Teknik Industri Dalam Mendukung Pengembangan Industri dan Mengatasi Kekurangan Energi di Indonesia"

Program Studi Teknik Mesin dan Teknik Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

MODEL INTEGRASI SISTEM PERSEDIAAN DAN PERAWATAN PADA DUA ESELON DENGAN KRITERIA MINIMISASI TOTAL ONGKOS

Fifi Herni Mustofa¹, Arie Desrianty¹, Astri Nurhidayati

¹Staf Pengajar Teknik Industri ITENAS Bandung

e-mail: fifi@itenas.ac.id

Abstrak

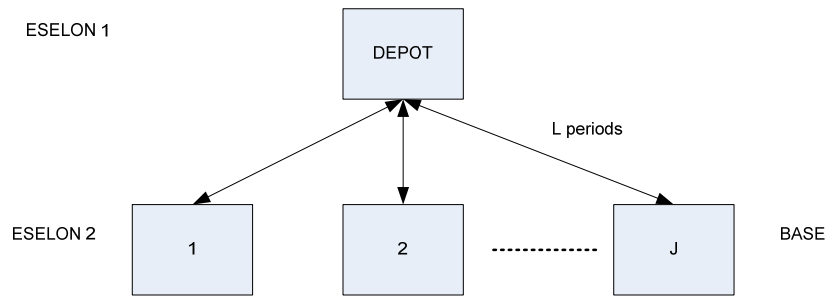
Permasalahan yang timbul dari aktivitas penggantian komponen adalah penentuan jumlah persediaan optimal komponen yang baik untuk mengganti komponen yang rusak. Semakin banyak komponen baik yang disediakan, pemenuhan permintaan komponen tersebut akan semakin cepat. Namun persediaan yang banyak akan mengakibatkan meningkatnya ongkos simpan yang dikeluarkan perusahaan. Sedangkan kecepatan perbaikan komponen rusak ditentukan berdasarkan jumlah tenaga perbaikan (server). Semakin banyak jumlah server memperbaiki komponen, maka jumlah komponen yang selesai diperbaiki akan semakin banyak dan waktu menunggu perbaikan semakin kecil, tetapi akan menimbulkan ongkos pengadaan server semakin besar. Penelitian ini membahas tentang model penentuan jumlah persediaan pada level penggantian komponen dan jumlah server pada level perbaikan komponen dengan kriteria minimisasi total ongkos. Bengkel merupakan tempat perbaikan komponen rusak dengan kapasitas terbatas sesuai server yang tersedia. Sedangkan pabrik merupakan tempat penggantian komponen dengan permasalahan penentuan persediaan berdasarkan ekspektasi backorder. Jika bengkel tidak mampu menyediakan komponen baik ke pabrik, maka pabrik akan melakukan outsourcing untuk memenuhi permintaan tersebut. Penentuan jumlah persediaan dan server ini saling terkait (dependent). Hal ini berarti jumlah server yang tersedia di bengkel mempengaruhi persediaan yang akan diterima pabrik dari bengkel. Formulasi model dibagi ke dalam dua tahap, tahap pertama penentuan kapasitas bengkel mengadakan komponen baik yang ditentukan berdasarkan jumlah server yang tersedia. Tahap kedua adalah menentukan ekspektasi backorder di pabrik yang kemudian akan menjadi jumlah outsourcing yang dilakukan pabrik untuk memenuhi permintaan. Penyelesaian model dilakukan dengan melakukan pemodelan matematis terhadap model dengan data hipotetik tertentu.

Kata kunci: sistem persediaan, multi eselon, server, minimisasi total ongkos.

Pendahuluan

Permintaan produk baru yang beragam dan cepat berubah telah didukung dengan pengoperasian mesin produksi yang kompleks dan mahal. Untuk memastikan investasi tersebut menghasilkan produk yang sesuai dengan keinginan maka pengoperasian mesin harus dijaga. Mesin yang digunakan terus menerus dalam jangka waktu tertentu akan mengalami deteriorasi, dan akan rusak jika deteriorasi melebihi batasnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan mesin yang berakibat pada biaya produksi tinggi dan kualitas output yang rendah atau bahkan menghasilkan produk cacat. Perawatan merupakan salah satu cara yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap usaha mempertahankan kinerja mesin, meningkatkan kualitas hasil akhir suatu produk, dan menekan biaya produksi.

Pada persoalan mesin tidak dapat beroperasi karena disebabkan kerusakan komponennya dan untuk memperbaiki komponen yang rusaknya membutuhkan waktu perbaikan yang lama, proses perawatan dapat dibagi ke dalam beberapa level (eselon). Sistem persediaan ini diterapkan pada industri pesawat terbang seperti yang dibahas oleh Chuin Lau (2008) yang memiliki struktur produk yang mahal dan rumit. Pembagian ini dikenal dengan istilah multi eselon atau *multi indenture*, yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Multi Eselon

Konsep sistem persediaan pada *multi eselon* diperkenalkan oleh Clark dan Scarf [Clark & Scarf, 1966 dan Clark, 1972] yang pada prinsipnya menyatakan bahwa persediaan pada suatu eselon adalah semua persediaan yang ada pada unit fasilitas yang bersangkutan dan semua persediaan yang ada pada fasilitas yang mengikutinya (pada eselon berikutnya).

Sherbrooke [1992] mengembangkan model-model sistem kebijakan perawatan dan penggantian komponen yang melibatkan multi komponen dalam bentuk struktur produk (*multi indenture*). Hal ini berarti permintaan suatu komponen terkait dengan permintaan komponen lainnya.

Sistem persediaan ini diterapkan pada komponen-komponen *repairable*, yaitu komponen yang masih dapat diperbaiki bila terjadi kegagalan fungsi dan umumnya memiliki investasi besar, seperti komponen pesawat terbang dan kapal laut. Kerusakan pada komponen hanya dapat dilakukan dengan memperbaiki komponen tersebut. Karena proses perbaikan komponen membutuhkan waktu yang lama, maka perlu diterapkan sistem persediaan pada eselon berikutnya agar performansi sistem tidak terganggu.

Dalam penelitian ini komponen yang mengalami kerusakan merupakan komponen dari suatu produk yang memiliki struktur produk yang rumit seperti pesawat. Komponen yang mengalami kerusakan masuk ke eselon 2 (*base*) dan jika *base* memiliki persediaan komponen, maka komponen tersebut akan langsung diganti. Jika *base* tidak memiliki persediaan, maka yang terjadi adalah *backorder* dan akan dipenuhi ketika komponen sudah diperbaiki atau depot telah mengirimkan komponen ke *base*.

Setiap komponen yang rusak hanya dapat diperbaiki di depot, sehingga setiap komponen yang rusak di *base* akan langsung dikirim ke depot untuk diperbaiki. Jika waktu perbaikan pada depot terlalu lama, maka akan terjadi antrean di dalam sistem.

Berdasarkan sistem multi eselon ini, perlu ditentukan jumlah persediaan yang harus ada di *base* dan jumlah *server* yang harus ada di depot untuk memenuhi permintaan yang berfluktuatif. Setiap persediaan adalah biaya, dengan demikian jika jumlahnya berlebihan akan meningkatkan biaya dan jika jumlahnya terlalu sedikit maka tidak dapat memenuhi permintaan. Selain itu, sistem ini pun menentukan jumlah server yang harus disediakan di depot untuk memperbaiki komponen agar tidak terjadi antrean.

Pendekatan Pemecahan Masalah

Tujuan pengembangan model ini adalah menghasilkan model pengendalian persediaan dan penentuan jumlah server kriteria minimisasi total ongkos. Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut adalah:

1. Sistem Pengendalian Persediaan Multi Eselon Multi Komponen *Dependent* Dengan Kendala Anggaran Dana Investasi [Mustofa, 2004].

Kontribusi dari model ini terhadap penelitian adalah menentukan nilai ekspektasi *backorder* yang selanjutnya akan menjadi jumlah *outsourcing* yang akan dilakukan pabrik untuk memenuhi permintaan.

2. Sistem Persediaan Multi Eselon Dengan Keterbatasan Kapasitas Perbaikan [Chuin Lau, 2008].
Kontribusi dari model ini adalah karakteristik sistem yang menjadi acuan penelitian dengan pendekatan yang berbeda.
3. *Operational Research* [Lieberman, 2001]
Kontribusi dari model ini terhadap penelitian adalah rumus untuk menentukan jumlah *server* optimal terkait dengan antrian yang terjadi di bengkel.

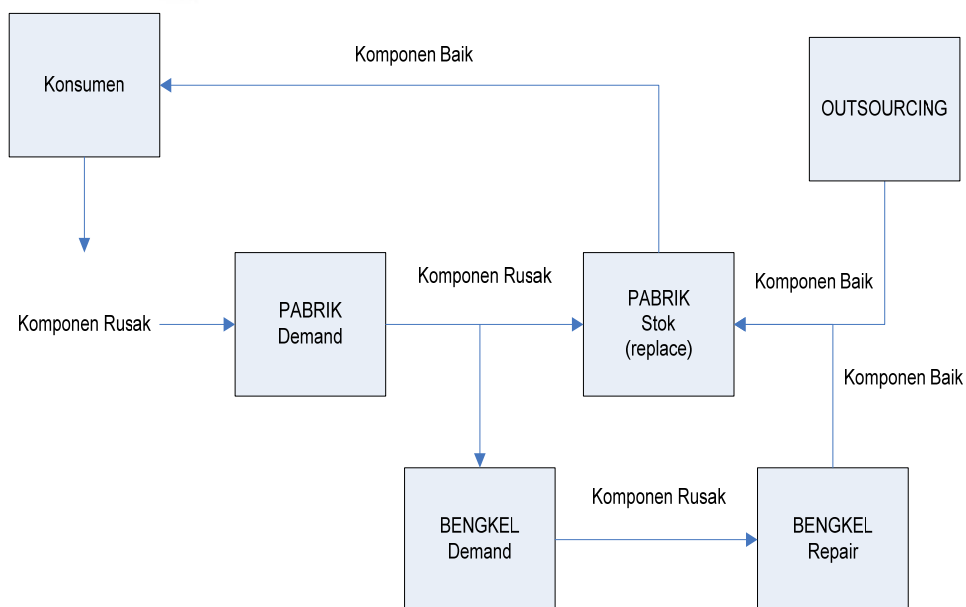
Penelitian ini memiliki 3 tahapan yaitu pabrik, bengkel dan *outsourcing*. Pada penelitian ini dibatasi jumlah bengkel adalah 1 dan jumlah pabrik adalah 1. Unit komponen yang mengalami kerusakan merupakan komponen dari suatu mesin. Komponen yang rusak akan masuk ke pabrik dengan laju kedatangan persatuan waktu yang berdistribusi Poisson. Kondisi yang mungkin terjadi di pabrik diantaranya:

- Jika pabrik memiliki stok komponen yang baik, maka komponen yang rusak akan langsung diganti.
- Jika pabrik tidak memiliki stok komponen yang baik, maka akan terjadi kekurangan komponen atau *backorder* di pabrik dan akan dipenuhi dengan melakukan *outsourcing*.

Setelah diproses di pabrik, komponen yang rusak akan dilanjutkan ke bengkel dengan kondisi yang mungkin terjadi diantaranya:

- Komponen yang rusak dari pabrik akan masuk ke bengkel untuk diperbaiki dengan laju kedatangan yang sama dengan laju kedatangan pada pabrik.
- Proses perbaikan ini dilakukan oleh *server* dengan waktu perbaikan tertentu.
- Setelah komponen diperbaiki, bengkel akan mengirimkan komponen yang baik tersebut pada pabrik untuk dijadikan stok dengan *lead time* = waktu perbaikan
- Jika pabrik mengirimkan komponen yang rusak dalam kondisi *server* masih memperbaiki komponen, maka akan terjadi antrian

Aliran komponen dari pabrik ke bengkel ataupun sebaliknya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Aliran Komponen Pabrik ke Bengkel

Formulasi Model

Penelitian ini menghasilkan model pengendalian persediaan dua eselon dengan kriteria minimisasi total ongkos dengan mempertimbangkan kondisi *backorder* di eselon dua dan jumlah *server* di eselon satu. Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Sistem persediaan terdiri dari 2 eselon yaitu eselon 1 terdapat 1 depot dan eselon 2 terdapat 1 *base*.
2. Setiap komponen yang rusak hanya dapat diperbaiki di depot sedangkan *base* hanya mengganti komponen yang rusak dengan komponen yang baik (*replace*).
3. Waktu perbaikan di depot berdistribusi Eksponensial.

Berikut ini merupakan daftar notasi yang digunakan pada formulasi model pengendalian persediaan dua eselon berdasarkan jumlah *server* dengan kriteria minimisasi *backorder* dan antrian.

T_c	: Total Cost (\$/bulan)
D	: permintaan (unit/bulan)
S	: stok yang dapat bengkel kirim pada pabrik (unit/bulan)
EBO	: ekspektasi jumlah <i>backorder</i> (unit)
i	: persediaan akhir
L_q	: ekspektasi jumlah produk yang sedang mengantri (unit)
P_n	: kemungkinan terdapat n konsumen secara pasti dalam sistem pada saat t , bila pada saat $t = 0$ terdapat jumlah tertentu.
λ	: rata-rata jumlah kedatangan dalam sistem (unit/bulan)
μ	: rata-rata pelayanan bagi sistem (unit/bulan)
ρ	: faktor utilitas
W_q	: waktu tunggu yang dialami oleh setiap produk dalam antrian
s	: jumlah <i>server</i> (orang)
C_q	: ongkos menunggu (\$/unit/bulan)
C_s	: ongkos <i>server</i> per unit (\$/server/bulan)

Komponen ongkos di pabrik dan bengkel akan diuraikan sebagai berikut:

A. Ongkos yang terjadi di pabrik

Ongkos-ongkos yang terjadi di pabrik yaitu, ongkos pesan pada bengkel, ongkos simpan dan ongkos pesan pada *outsourcing*. Langkah-langkah perhitungan yaitu:

1. Menentukan EBO, dengan rumus:

$$EBO = (D - S)P(D|E[D]) \quad (1)$$

2. Menentukan jumlah *outsourcing* yaitu sama dengan EBO

$$Outsourcing = (D - S) \times EBO \quad (2)$$

3. Menentukan jumlah persediaan dengan rumus:

$$I = (S - D)(1 - P(D|E[D])) \quad (3)$$

4. Menentukan ongkos yang terjadi di pabrik, dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Ongkos pabrik} &= O.\text{pesan bengkel} + O.\text{pesan outsourcing} + O.\text{simpan} \\ &= (S \times C \text{ bengkel}) + (\text{outsourcing} \times C \text{ outsourcing}) + (I \times H) \end{aligned} \quad (4)$$

B. Ongkos yang terjadi di bengkel

Persamaan yang digunakan pada bengkel diantaranya:

1. Variabel ρ , diperoleh dengan rumus:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu s} \quad (5)$$

2. Variabel P_0 , diperoleh dengan rumus:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} + \left(\frac{(\frac{\lambda}{\mu})^s}{s!} \times \frac{1}{(1-\rho)} \right)} \quad (6)$$

3. Variabel L_q , diperoleh dengan rumus:

$$L_q = \frac{P_0 \times \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \times \rho}{s! \times (1-\rho)^2} \quad (7)$$

4. Variabel W_q , diperoleh dengan rumus:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (8)$$

5. Menentukan ongkos yang terjadi di bengkel, dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Ongkos bengkel} &= O. \text{menunggu} + O. \text{pengadaan server} \\ &= (C_q \times W_q) + (C_s \times s) \end{aligned} \quad (9)$$

Analisis Model

Untuk menjelaskan bentuk solusi model digunakan set data sebagai berikut:

Tabel 1. Data Permintaan

Periode	Permintaan
1	5
2	4
3	8
4	7
5	10
6	4
7	6
8	7
9	5
10	3
11	4
12	6

Data ongkos yang digunakan pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Ongkos

	Bengkel	Outsourcing
Ongkos pesan	Rp 200,000.00	Rp 250,000.00
Ongkos simpan	Rp 50,000.00	Rp 50,000.00
Ongkos <i>backorder</i>	Rp 300,000.00	Rp 300,000.00
Ongkos menunggu	Rp 100,000.00	Rp 100,000.00
Ongkos server	Rp 500,000.00	Rp 500,000.00

Data yang digunakan untuk menentukan antrean dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian Antrean

Notasi	Nilai	Satuan
λ	5	unit/bulan
μ	3	unit/bulan/server
s	2	server



SEMINAR NASIONAL MESIN DAN INDUSTRI (SNMI6) 2010

"Peran Riset Bidang Teknik Mesin dan Teknik Industri Dalam Mendukung Pengembangan Industri dan Mengatasi Kekurangan Energi di Indonesia"

Program Studi Teknik Mesin dan Teknik Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Perhitungan yang dilakukan untuk menguji model di antaranya:

1. Untuk perhitungan EBO dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Expected Backorder (EBO)*

Periode	Stok	Demand	$P(D)$	EBO
1	6	5	0.17547	-0.175
2	7	4	0.17547	-0.526
3	9	8	0.06528	-0.065
4	7	7	0.10444	0.000
5	6	10	0.01813	0.073
6	2	4	0.17547	0.351
7	4	6	0.14622	0.292
8	4	7	0.10444	0.313
9	3	5	0.17547	0.351
10	4	3	0.14037	-0.140
11	7	4	0.17547	-0.526
12	9	6	0.14622	-0.439

2. Menentukan jumlah *outsourcing* yaitu sama dengan EBO, dan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Outsourcing*

Periode	Stok	Demand	$P(D)$	EBO	Outsourcing
1	6	5	0.17547	-0.175	0
2	7	4	0.17547	-0.526	0
3	9	8	0.06528	-0.065	0
4	7	7	0.10444	0.000	0
5	6	10	0.01813	0.073	1
6	2	4	0.17547	0.351	1
7	4	6	0.14622	0.292	1
8	4	7	0.10444	0.313	1
9	3	5	0.17547	0.351	1
10	4	3	0.14037	-0.140	0
11	7	4	0.17547	-0.526	0
12	9	6	0.14622	-0.439	0

3. Hasil perhitungan jumlah persediaan persediaan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Persediaan

Periode	Stok	Demand	$P(D)$	i
1	6	5	0.17547	1
2	7	4	0.17547	3
3	9	8	0.06528	1
4	7	7	0.10444	0
5	6	10	0.01813	0
6	2	4	0.17547	0
7	4	6	0.14622	0
8	4	7	0.10444	0
9	3	5	0.17547	0
10	4	3	0.14037	1
11	7	4	0.17547	3
12	9	6	0.14622	3

4. Ongkos yang terjadi di pabrik dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Ongkos di Pabrik

Periode	Stok	Demand	Outsourcing	<i>i</i>	Ongkos Pabrik
1	6	5	0	1	Rp 1,250,000.00
2	7	4	0	3	Rp 1,550,000.00
3	9	8	0	1	Rp 1,850,000.00
4	7	7	0	0	Rp 1,400,000.00
5	6	10	1	0	Rp 1,450,000.00
6	2	4	1	0	Rp 650,000.00
7	4	6	1	0	Rp 1,050,000.00
8	4	7	1	0	Rp 1,050,000.00
9	3	5	1	0	Rp 850,000.00
10	4	3	0	1	Rp 850,000.00
11	7	4	0	3	Rp 1,550,000.00
12	9	6	0	3	Rp 1,950,000.00

Ongkos yang terjadi di bengkel dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Ongkos di Bengkel

Periode	Stok	Demand	Bengkel						Ongkos Bengkel (Rp/bulan)	
			λ	μ	<i>s</i>	ρ	P0	Lq		Wq
1	6	5								
2	7	4								
3	9	8								
4	7	7								
5	6	10								
6	2	4								
7	4	6	5	3	2	0.8333	0.0462	1.9231	0.3846	Rp 1,038,461.54
8	4	7								
9	3	5								
10	4	3								
11	7	4								
12	9	6								

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah model optimisasi penentuan jumlah persediaan dan jumlah server pada sistem dua eselon. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

- Proses pencarian jumlah stok dan server yang optimal dapat dikembangkan lebih lanjut dengan kondisi sistem yang lebih kompleks.
- Penelitian dapat menganalisis sensitivitas model terhadap beberapa parameter ongkos.

Daftar Pustaka

1. Chuin Lau, Hoong, *Multi-echelon Repairable Item Inventory System With Limited Repair Capacity Under Nonstationary Demands*, Inderscience Enterprises, 2008.
2. Febriansyah, Riza, *Keputusan Penggantian Pencegahan Komponen Bonit Seal pada Mesin Kneader yk 75 hd yang Dioperasikan dengan Satu Mesin Cadangan*, Itenas, Bandung, 2010.
3. Fogarty, D. W., Blackstone, J. H., & Hoffman, *Production and Inventory Management*, second edition, South-western Publishing Co., Ohio, 1991.
4. Jardine, A.K.S., *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Pitman Publishing, New York, 1973.



SEMINAR NASIONAL MESIN DAN INDUSTRI (SNMI6) 2010

"Peran Riset Bidang Teknik Mesin dan Teknik Industri Dalam Mendukung Pengembangan Industri dan Mengatasi Kekurangan Energi di Indonesia"

Program Studi Teknik Mesin dan Teknik Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

5. Lieberman, Heillier, *Operations Research*, seventh edition, Mc Graw Hill, 2001.
6. Mustofa, Fifi Herni, *Pengembangan Model Pengendalian Persediaan Multi Eselon Multi Komponen Dependent Dengan Kendala Anggaran Dana Investasi*, Itenas, Bandung, 2004.
7. Sherbrooke, Craig. C., *Optimal Inventory Modeling Of System Multi-Echelon Techniques*, John Willey & Sons, New York, 1992.
8. Tersine, R. J., *Principle Of Inventory and Materials Management*, Fourth Edition, Prentice Hall, 1999.
9. Wulansari, *Model Sistem Pengendalian Persediaan Dua Eselon Multi Komponen Dependent Berdasarkan Jadwal Penggantian Komponen*, Itenas, Bandung, 2007.

