

PENENTUAN *PRODUCTION LOT SIZES* DAN *TRANSFER BATCH SIZES* DENGAN PENDEKATAN *MULTISTAGE*

Purnawan Adi W, Singgih Saptadi, Mellina Ratna Y
Program Studi Teknik Industri, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudarto, SH., Semarang
nawanadi@yahoo.com

Abstrak

Pengendalian dan perawatan inventori merupakan suatu permasalahan yang sering dihadapi seluruh organisasi dalam berbagai sektor ekonomi. Salah satu tantangan yang harus dihadapi dalam pengendalian inventori adalah bagaimana menentukan ukuran lot yang optimal pada suatu sistem produksi dengan berbagai tipe. Analisis batch produksi (production lot) dengan pendekatan hybrid simulasi analitik merupakan salah satu penelitian mengenai ukuran lot optimal. Penelitian tersebut menggunakan pendekatan sistem singlestage dimana tidak adanya hubungan antar proses di setiap stage atau dengan kata lain, proses yang satu independen terhadap proses yang lain. Dengan menggunakan objek penelitian yang sama dengan objek penelitian diatas, penelitian ini kemudian mengangkat permasalahan penentuan ukuran production lot dengan pendekatan multistage. Pertama, dengan menggunakan data-data yang sama dengan penelitian sebelumnya ditentukan ukuran production lot yang optimal dengan metode program linier. Selanjutnya ukuran production lot digunakan sebagai input simulasi untuk menentukan ukuran transfer batch. Rata-rata panjang antrian dan waktu tunggu menjadi ukuran performansi yang digunakan sebagai acuan penentuan ukuran transfer batch dari beberapa alternatif ukuran yang ada. Pada penelitian ini, ukuran production lot yang dihasilkan sama besarnya dengan demand tiap periode. Sedangkan untuk ukuran transfer batch, hasil penentuan dengan menggunakan simulasi kemudian diimplementasikan ke dalam model. Hasilnya adalah adanya penurunan inventori yang terjadi sebesar 76,35% untuk produk connector dan 50,59% untuk produk box connector dari inventori yang dihasilkan dengan pendekatan singlestage.

Kata kunci : *multistage, production lot, transfer batch*

Abstract

Inventory maintenance and inventory control is a problem that often faced by all organization in many economic sectors. One of challenges that must be faced in inventory control is how to determine the optimal lot size in a system of production with several types. Analysis of production batch (production lot) using hybrid analytic simulation is one kind of research about optimal lot size. That research uses single-stage system approach where there are not relationships between processes in every stage or in other word; one process is independent to other process. Using the same research object with one before, this research then take up problem how to determine production lot size with multi-stage approach. First, determining optimal production lot size by linear program using the same data with previous research. Then, production lot size is used as simulation input to determine transfer batch size. Average of queue length and waiting time as performance measurement are used as reference in determining transfer batch size from several alternatives. In this research, it shows that production lot size is same with demand each period. Determination result of transfer batch size by using simulation then implemented on model. The result is descent of inventory of connector product at 76.35% and 50.59% for box connector product, as compared to inventory using single-stage approach.

Keywords : *multistage, production lot, transfer batch*

PENDAHULUAN

Pengendalian dan perawatan inventori merupakan suatu permasalahan yang sering dihadapi seluruh organisasi dalam berbagai sektor ekonomi. Dalam sistem produksi tipe *batch*, produk biasanya dibuat kemudian disimpan dalam bentuk lot [Ref 12.Hal 4] Fokus permasalahan dalam manajemen inventori adalah penentuan ukuran lot yang optimal pada suatu sistem produksi dengan berbagai tipe. Salah satu penelitian yang telah dilakukan yaitu mengenai analisis *batch* produksi (*production lot*) dengan menggunakan pendekatan hybrid simulasi-analitik oleh Yanni pada tahun 2004. Kondisi riil sistem yang diteliti adalah bersifat *multistage*, dalam hal ini sistem terdiri dari beberapa tahapan proses. Karena sistem produksinya bersifat *jobshop*, maka satu atau lebih produk mungkin menggunakan mesin yang sama dalam proses produksinya. Pada penelitian awal yang dilakukan oleh Yanni, jenis produk yang diamati hanya 5 jenis. Produk-produk tersebut yaitu *tray* dan *ladder* untuk kelompok produk pesanan, serta *connector*, *box connector*, dan *clamp pilluck* untuk kelompok produk persediaan. Namun, fokus penelitian hanya pada produk kelompok pesanan. Aliran proses produksi untuk kelima produk tersebut dapat dilihat pada gambar 1.

Pendekatan *singlestage* yang digunakan oleh Yanni dapat dilihat pada penentuan *production lot* untuk setiap produk. Pada EPQ, penentuan besarnya nilai Q tidak mempertimbangkan kapasitas produksi untuk setiap mesin (*stage*). Pada kenyataannya, untuk sistem *multistage* besarnya nilai Q seharusnya mempertimbangkan kapasitas produksi setiap *stage*. Hal ini dikarenakan proses produksi pada satu *stage* bergantung pada proses di *stage* sebelum dan setelahnya. Dengan kata lain, proses produksi dikatakan *multistage* karena terdiri dari beberapa tahapan proses (sekumpulan mesin yang tersusun seri) dan proses yang satu dengan yang lainnya saling berhubungan (dependen).

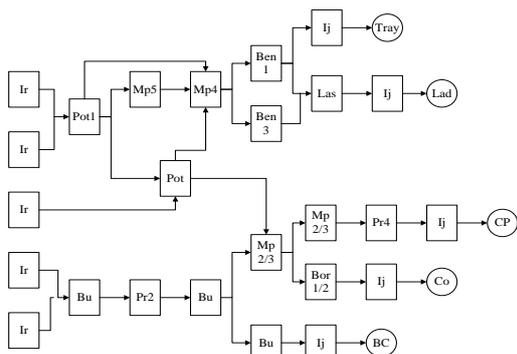
Permasalahan yang dihadapi oleh Yanni dalam penelitian ini dimodelkan

dalam bentuk permasalahan *multistage capacitated lot sizing* dalam suatu horizon perencanaan. Penelitian lanjutan ini bertujuan untuk menentukan *production lot* (X_{it}) yang optimal serta posisi inventori (I_{it}) pada setiap titik distribusi dari *stage* pertama sampai *stage* terakhir pada proses produksi. Selain itu, ukuran *transfer batch* juga akan ditentukan berdasarkan *production lot* yang sudah didapat. Penentuan besarnya nilai X_{it} dan I_{it} ditentukan dengan menggunakan model program linier.

Penelitian Yanni menggunakan pendekatan hybrid simulasi-analitik untuk menganalisis *production lot sizes*. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan yang sama tetapi dengan tujuan yang berbeda. Pendekatan tersebut digunakan dalam penentuan *transfer batch sizes*. Hal ini dilakukan karena model matematik analitik tidak dapat menggambarkan sistem nyata secara keseluruhan akibat dari banyaknya asumsi yang ada pada model matematik analitik. Oleh karena itu, simulasi digunakan sebagai model yang merepresentasikan sistem nyata. Model analitik yang digunakan pada penelitian Yanni yaitu model EPQ sedangkan pada penelitian ini digunakan model program linier. Hasil dari model analitik kemudian dimasukan sebagai input dalam simulasi. Yang membedakan simulasi penelitian Yanni dengan simulasi pada penelitian ini adalah input yang digunakan serta tujuan dari simulasi tersebut. Dalam penelitian Yanni, simulasi digunakan sebagai alat untuk menentukan *production lot sizes* dengan performansi yang terbaik sedangkan pada penelitian ini simulasi digunakan sebagai alat untuk menentukan *transfer batch sizes* yang memiliki performansi terbaik dan tetap dapat memenuhi permintaan dengan input *production lot sizes* hasil model analitik dengan pendekatan *multistage*.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan *production lot* dan inventori yang optimal untuk setiap produk serta *transfer batch* di setiap mesin di setiap periode serta menganalisa model kebijakan *production lot* yang baru. Batasan masalah dan asumsi yang digunakan sama dengan

yang digunakan pada penelitian Yanni. Beberapa batasan masalah yang ditambahkan dalam penelitian ini adalah analisis *production lot* tidak dibatasi pada sistem *single-stage* melainkan sistem *multi-stage*. Selain itu, walaupun sistem produksi yang diamati bersifat *jobshop*, penelitian dibatasi pada produk yang sama dengan yang diamati Yanni yaitu *connector* dan *box connector* yang jika dilihat secara khusus terlihat seperti sistem *flowshop*. Aliran proses produksinya seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Aliran Proses Produksi

Keterangan :

BC : <i>Box Connector</i>	Ij : inventori barang jadi
Ben : mesin bending	Ir : inventori bahan baku
Bu : mesin bubut	Lad : <i>Ladder</i>
Co : <i>Connector</i>	Mp : mesin multipurpose
CP : <i>Clamp Pilluck</i>	Pot : mesin potong
	Pr : mesin press

Asumsi tambahan yang digunakan adalah setiap produk diproduksi di setiap periode. Asumsi ini berkaitan dengan penelitian Yanni yang menganggap sistem berproduksi di setiap periode. Selain itu, penelitian ini hanya merupakan penentuan kebijakan *production lot* baru, bukan merupakan usulan perbaikan.

METODOLOGI PENELITIAN

Rangkaian langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Formulasi Masalah

Masalah yang diangkat adalah berapa ukuran *transfer batch* yang tepat berdasarkan performansi mesin, rata-rata

panjang antrian dan waktu tunggu di setiap *stage*.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ukuran *transfer batch* berdasarkan performansi sistem dengan input *production lot* hasil pendekatan *multistage*.

Pembangunan Model

Model yang dibangun adalah model konseptual. Model konseptual adalah representasi matematis/logis/verbal dari entitas masalah yang dikembangkan untuk suatu analisa. Karena model simulasi yang digunakan sama dengan yang digunakan pada penelitian Yanni, maka pada penelitian ini model konseptual tidak dibuat lagi.

Pengkodean

Berdasarkan model konseptual yang sudah dibangun, ditentukan kejadian-kejadian penting yang perlu dimodelkan dengan membentuk *event graph* lengkap yang dapat mewakili seluruh kejadian dalam sistem. Setelah itu akan dibuat model *event graph* yang lebih sederhana yang hanya menggambarkan kejadian-kejadian yang berhubungan dengan formulasi masalah untuk diterjemahkan ke dalam bahasa komputer. Dalam penelitian ini, bahasa komputer yang digunakan adalah *software* simulasi *Extend*.

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk menghindari adanya kesalahan yang mungkin timbul pada model sebelum diterapkan ke sistem nyata. Dalam hal ini, verifikasi model memeriksa kesesuaian model dengan prinsip-prinsip yang berlaku untuk memastikan bahwa model dapat bekerja mewakili sistem nyatanya dan dapat memberikan solusi yang logis. Pada penelitian ini, verifikasi model dilakukan dengan menjalankan program simulasi *Extend*. Dalam simulasi ini dapat dilihat dengan visualisasi apakah model berjalan sesuai dengan sistem nyata.

Eksekusi Program

Tahap ini merupakan proses pengoperasian program simulasi berdasarkan model yang sudah dibangun. Tahap ini akan memberikan gambaran mengenai performansi sistem.

Dokumentasi Program dan Laporan Hasil

Dokumentasi digunakan sebagai alat untuk menerangkan langkah-langkah pembuatan program dan bagaimana sistem beroperasi. Sedangkan laporan hasil merupakan hasil eksperimen yang dilaporkan ke pihak lain agar pihak lain dapat mengetahui hasil eksperimen ini.

PENGUMPULAN DATA

Data demand pada tahun 2003 terdapat pada tabel 1.

Tabel 1 Data Demand Produk Tahun 2003

Bulan ke-	Connector (co)	Box Connector (bc)
1	1313	1324
2	1380	1604
3	1051	3000
4	1300	1302
5	1359	2701
6	1919	1315
7	2050	716
8	1470	2000
9	732	2350
10	1587	1500
11	1352	1200
12	2800	1885

Komponen biaya yang menyusun biaya produksi yaitu :

1. Biaya Tenaga Kerja : Rp. 2.444,44/jam
2. Biaya Pemakaian Mesin :
 - Mesin Bubut : Rp. 3.500,- per jam
 - Mesin Press : Rp. 5.500,- per jam
 - Mesin Bor : Rp. 3.000,- per jam
 - Mesin *Multipurpose* : Rp. 3.000,- per jam
3. Biaya Inventori : Rp. 83,33/unit per bulan
4. Biaya Bahan Baku : Rp. 576,-/unit
5. Biaya Tenaga Kerja per Unit (LC)
 - LC co : Rp. 150,90/unit
 - LC bc : Rp. 154,53/unit

Berikut ini pada tabel 2 adalah data waktu proses dan setup per mesin

Tabel 2 Waktu Proses dan Setup per Mesin

Mesin	Rata-rata waktu proses/unit (mnt) (T_o)	Rata-rata (T_{su})
bubut (potong)	0,383	14,5
<i>press</i> hidrolis	1,23	26
bubut (ulir luar)	1,07	14,5
bubut (ulir dalam)	1,11	14,5
<i>multipurpose</i>	0,538	18,7
bor	0,483	11,4

PENGOLAHAN DATA

Penentuan *Production lot*

Biaya Setup per Produk (C_{su})

- a. Produk *Connector* C_{su}
co = **Rp. 3.467,03**
- b. Produk *Box Connector* C_{su}
bc = **Rp. 2.831,48**

Biaya Unit Produksi

- a. Produk *Connector* C_o
co = **Rp. 975,46/unit**
- b. Produk *Box Connector* C_o
bc = **Rp. 992,79/unit**

Kapasitas Produksi per Mesin per Periode

Jumlah hari kerja = 6 hari/minggu
 Jam kerja per minggu = 45 jam/minggu
 Kapasitas Produksi per Periode (bulan) = 45 jam/minggu x 4 minggu x 60 menit = 10.800 menit/periode
 Kapasitas Produksi per Mesin :
 Mesin Bubut (potong) : 2.207,27 menit/periode
 Mesin *Press* : 7.088,63 menit/periode
 Mesin Bubut (ulir luar) : 6.166,54 menit/periode
 Mesin Bubut (ulir dalam) : 3.160,56 menit/periode
 Mesin *Multipurpose* : 1.568,68 menit/periode
 Mesin Bor : 1.408,32 menit/periode

Formulasi Masalah

$$\text{Minimasi : } Z = \sum_{i=1}^2 \sum_{t=1}^{12} [s_{it} y_{it} + c_{it} x_{it} + h_{it} I_{it}]$$

Fungsi pembatas :

$$I_{i,t-1} + x_{it} - I_{it} = d_{it} - \sum_{j \in S_i} r_{ij} x_{jt} \quad i = 1, 2$$

$$; t = 1, \dots, 12$$

$$\sum_{i=1}^2 [f_{ikt} y_{it} - v_{it} x_{it}] \leq b_{kt}$$

$$k = 1, \dots, 6; t = 1, \dots, 12$$

$$x_{it} \leq M_{it} y_{it}$$

$$i = 1, 2; t = 1, \dots, 12$$

$$x_{it} \geq 0, I_{it} \geq 0, y_{it} = 0 \text{ atau } 1 \quad i = 1, 2$$

$$; t = 1, \dots, 12$$

Dimana :

- r_{ij} = jumlah unit komponen i yang diperlukan oleh komponen $j \in S(i)$
- T = jumlah periode dalam horizon perencanaan
- d_{it} = demand independen untuk komponen i pada periode t
- c_{it} = biaya unit produksi untuk komponen i pada periode t
- s_{it} = biaya setup yang terjadi jika komponen i diproduksi pada periode t
- h_{it} = biaya penyimpanan untuk komponen i pada periode t
- K = jumlah kapasitas – sumberdaya pembatas yang digunakan untuk memproduksi seluruh komponen
- b_{kt} = jumlah kapasitas pada sumberdaya k yang tersedia pada periode t
- f_{ikt} = jumlah tetap sumberdaya k yang diperlukan untuk memproduksi komponen i pada periode t (contohnya, waktu setup pada suatu mesin)
- v_{ikt} = jumlah unit sumberdaya k yang diperlukan untuk memproduksi komponen i pada periode t
- x_{it} = *production lot sizes* komponen i pada periode t (variabel keputusan)
- M_{it} = batas atas untuk x_{it}
- y_{it} = variabel binari yang mengasumsikan nilai 1 jika komponen i diproduksi pada periode t dan 0, jika sebaliknya.
- I_{it} = stok inventori komponen i pada akhir periode t (variabel keputusan)
- Z = biaya total produksi

Penentuan Transfer Batch

Besarnya *transfer batch* di setiap server ditentukan dengan simulasi karena tidak ada model khusus yang dapat digunakan dalam penentuan *transfer batch sizes* dengan pendekatan *multistage*. Input yang digunakan dalam simulasi ini adalah

production lot, rata-rata waktu proses, distribusi waktu proses, dan distribusi waktu antar kedatangan. Besarnya *transfer batch* dari satu mesin (*stage*) ke mesin lain ditentukan dengan menggunakan *trial and error* dan dimulai dari mesin bubut potong ke mesin press 2. Ukuran *transfer batch* pertama kali sebesar ukuran *production lot* pada periode tersebut dan kemudian disimulasikan. Setiap simulasi menggunakan nilai *transfer batch* yang berbeda karena untuk mendapatkan rata-rata panjang antrian dan waktu tunggu yang paling kecil. Nilai tersebut diperoleh dari pengurangan 10% dari nilai *transfer batch* sebelumnya.

HASIL PEMBAHASAN

Production lot untuk Setiap Produk Analisis Penggunaan *Production lot*

Lot dapat berupa material ataupun waktu. Baik material ataupun waktu dapat ditukar penggunaannya, jika salah satu diperlakukan sebagai variabel maka yang lain sebagai invariabel. Pada penelitian ini lot yang dimaksud berupa material sehingga material diperlakukan sebagai invariabel dan waktu sebagai variabelnya.

Dalam suatu proses produksi, adanya *production lot* dapat membantu proses produksi menjadi lebih efisien. Dengan meningkatkan *production lot* maka akan memberikan pengaruh pada tingkat inventori *work-in-process* dan *lead time* manufaktur yang juga akan ikut meningkat. Selain itu peningkatan *production lot* juga akan menurunkan kualitas dan *throughput*.

Production Lot Sizes dan Inventori

Pada penelitian ini dihasilkan nilai *production lot* untuk produk *connector* dan *box connector*. Berdasarkan model matematik yang digunakan, besarnya *production lot* untuk setiap produk di setiap periode ditunjukkan pada tabel 5.1.

Berdasarkan Tabel 5.1 dapat diketahui bahwa *production lot sizes* berbeda untuk setiap produk di setiap periodenya. Pada penelitian kali ini dihasilkan *production lot sizes* yang lebih kecil dari yang dihasilkan pada penelitian Yanni. Karena *production lot sizes* yang

dihasilkan lebih kecil, maka inventori yang ada pun lebih kecil bahkan hanya pada periode 2 untuk produk *box connector* saja yang menimbulkan inventori. Inventori tersebut muncul untuk menutupi kekurangan dari *production lot* yang dihasilkan untuk produk *box connector* pada periode 3 yang hanya 2834 unit padahal demand produk *box connector* pada periode tersebut sebesar 3000 unit.

Hal-hal tersebut dapat terjadi karena pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini berbeda dengan pendekatan

yang digunakan oleh Yanni. Penelitian ini menggunakan pendekatan *multistage*, dimana sumberdaya (mesin) sebagai *stage* tidak berdiri sendiri melainkan saling ketergantungan dengan mesin lain. Dengan kata lain, mesin-mesin yang digunakan bersifat dependen, sama dengan proses produksinya. Sehingga, dalam penentuan *production lot sizes*, hubungan antar mesin dipertimbangkan dalam kapasitas produksi di setiap mesin.

Tabel 3 Production Lot Sizes dan Inventori

Periode	Penelitian ini				Penelitian Yanni			
	Production lot		Inventori		Production lot		Inventori	
	Connector	Box Connector	Connector	Box Connector	Connector	Box Connector	Connector	Box Connector
1	1313	1324	0	0	1515	1710	202	386
2	1380	1770	0	166	1515	1710	337	492
3	1051	2834	0	0	1010	2850	296	342
4	1300	1302	0	0	110	1140	6	180
5	1359	2701	0	0	1515	2850	162	329
6	1919	1315	0	0	2020	1140	263	154
7	2050	716	0	0	2020	570	233	8
8	1470	2000	0	0	1515	2280	278	288
9	732	2350	0	0	505	2280	51	218
10	1587	1500	0	0	2020	1710	484	428
11	1352	1200	0	0	1010	1140	142	368
12	2800	1885	0	0	3030	1710	372	193

Hubungan ini ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\sum_{i=1}^2 [f_{ikt} y_{it} - v_{it} x_{it}] \leq b_{kt}$$

$k = 1, \dots, 6 ; t = 1, \dots, 12$

Selain pendekatan yang digunakan berbeda, metode yang digunakan juga berbeda. Penelitian ini menggunakan metode pemrograman linier yang diambil dari suatu model pemrograman linier untuk *Multistage Capacitated Lot Sizes problem*. Metode ini merupakan metode perhitungan analitik dengan mencari nilai yang paling optimal dan terbaik. Fungsi tujuan (biaya total produksi) diperoleh berdasarkan

variabel-variabel keputusan yang optimal (*production lot sizes* dan inventori).

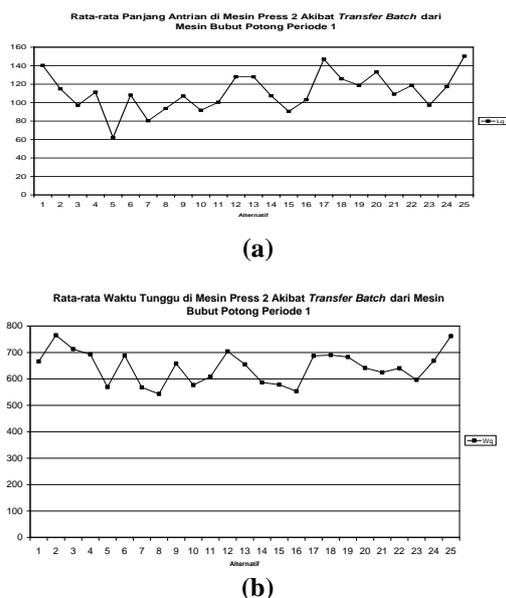
Transfer batch Simulasi Transfer Batch

Pada penelitian ini, besarnya *transfer batch* ditentukan dengan menggunakan simulasi. Input yang digunakan yaitu *production lot*, distribusi waktu antar kedatangan, dan distribusi waktu proses. *Production lot* yang digunakan sebagai input simulasi diambil dari *production lot* hasil perhitungan pada bagian 4.2. Distribusi waktu antar kedatangan dan waktu proses diambil dari data-data pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya (Yanni,2004) dan

sudah dianalisa sehingga data-data tersebut sudah valid.

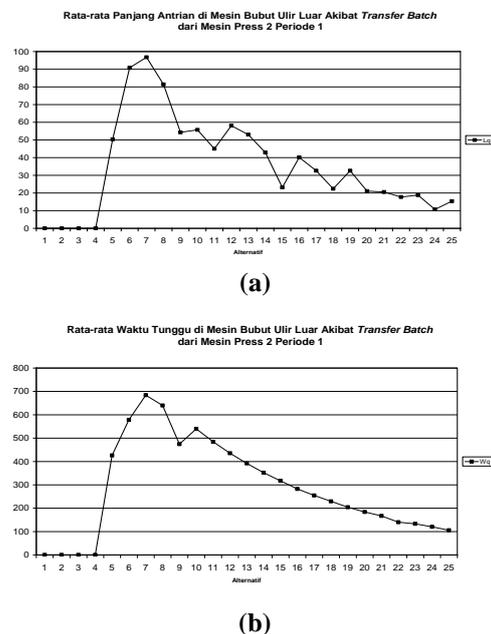
Untuk mendapatkan *transfer batch* yang optimal dari satu mesin ke mesin lain, *running* simulasi dilakukan sebanyak 5 (lima) kali. Hal ini disebabkan karena tujuan pemodelan ini adalah untuk mengetahui performansi sistem dan mencari alternatif ukuran *transfer batch*. Pada buku “*Extend+Manufacturing*” dijelaskan bahwa jumlah *running* simulasi tergantung pada sistem yang dimodelkan, jumlah waktu yang disimulasikan, tujuan pemodelan (mengestimasi performansi, mencari alternatif, dan lain-lain) dan bagaimana contoh analisis statistik diperoleh. Tujuan dilakukannya *running* simulasi yang berulang kali adalah agar diperoleh rata-rata performansi model, karena output simulasi yang selalu berubah setiap *running* dilakukan. Perubahan output simulasi terjadi karena input simulasi yang berupa probabilitas sehingga output yang dihasilkan akan beragam.

Analisis Performansi Grafik Performansi Mesin Akibat *Transfer batch* pada Periode 1



Gambar 2 Grafik Performansi Mesin Press2 Akibat *Transfer batch* dari Mesin Bubut Potong pada Periode 1 (a). Panjang Antrian (b). Waktu Tunggu

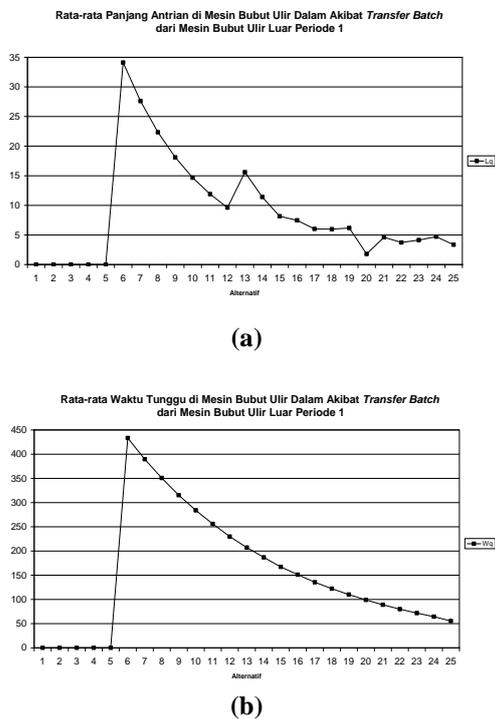
Gambar 2 menunjukkan performansi mesin press 2 akibat *transfer batch* dari mesin bubut potong. Dari 25 alternatif ukuran *transfer batch* diperoleh rata-rata panjang antrian (L_q) berkisar antara 62,125 sampai 150,215. Sedangkan rata-rata waktu tunggu (W_q) yang dihasilkan berkisar antara 543,042 menit sampai 765,196 menit. Rata-rata panjang antrian paling kecil dihasilkan dari alternatif 5, sedangkan rata-rata waktu tunggu yang paling kecil dihasilkan pada alternatif 8. Karena L_q dan W_q minimum tidak dihasilkan pada alternatif yang sama, maka dari dua alternatif tersebut dihitung kembali total waktu tunggu yang dihasilkan. Total waktu tunggu yang dihasilkan memberikan gambaran *leadtime* produksi. Alternatif 8 memberikan rata-rata total waktu tunggu lebih besar daripada alternatif 5. Jadi, alternatif yang dipilih adalah alternatif 5.



Gambar 3 Grafik Performansi Mesin Bubut (Ulir Luar) Akibat *Transfer batch* dari Mesin Press 2 pada Periode 1 (a). Panjang Antrian (b). Waktu Tunggu

Gambar 3 ini menunjukkan performansi mesin bubut ulir luar akibat *transfer batch* dari mesin press 2. Dari 25 alternatif ukuran *transfer batch* diperoleh rata-rata panjang antrian (L_q) berkisar

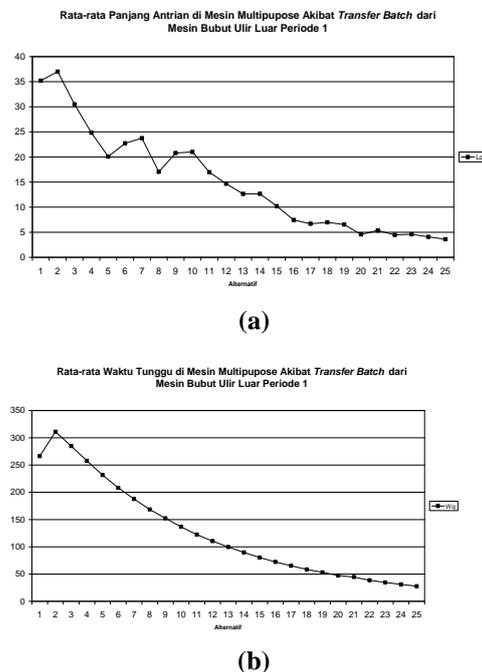
antara 0 sampai 96,778. Sedangkan rata-rata waktu tunggu (Wq) yang dihasilkan berkisar antara 0 menit sampai 683,917 menit. Nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada output yang keluar dari mesin bubut ulir luar karena ukuran *transfer batch* yang terlalu besar. Rata-rata panjang antrian paling kecil dihasilkan dari alternatif 24, sedangkan rata-rata waktu tunggu yang paling kecil dihasilkan pada alternatif 25. Karena Lq dan Wq minimum tidak dihasilkan pada alternatif yang sama, maka dari dua alternatif tersebut dihitung kembali total waktu tunggu yang dihasilkan. Total waktu tunggu yang dihasilkan memberikan gambaran *leadtime* produksi. Alternatif 25 memberikan rata-rata total waktu tunggu lebih besar daripada alternatif 24. Jadi, alternatif yang dipilih adalah alternatif 24.



Gambar 4 Grafik Performansi Mesin Bubut (Ulir Dalam) Akibat Transfer batch dari Mesin Bubut (Ulir Luar) pada Periode 1 (a). Panjang Antrian (b). Waktu Tunggu

Gambar 4 ini menunjukkan performansi mesin bubut ulir dalam akibat *transfer batch* dari mesin bubut ulir luar. Dari 25 alternatif ukuran *transfer batch*

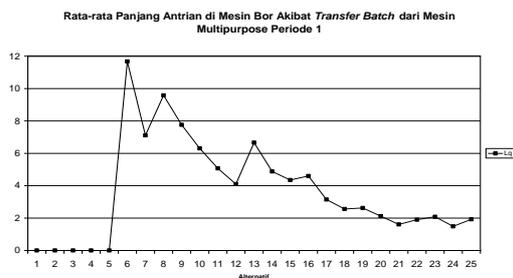
diperoleh rata-rata panjang antrian (Lq) berkisar antara 0 sampai 34,1. Sedangkan rata-rata waktu tunggu (Wq) yang dihasilkan berkisar antara 0 menit sampai 433,276 menit. Nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada output yang keluar dari mesin bubut ulir luar karena ukuran *transfer batch* yang terlalu besar. Rata-rata panjang antrian paling kecil dihasilkan dari alternatif 20, sedangkan rata-rata waktu tunggu yang paling kecil dihasilkan pada alternatif 25. Karena Lq dan Wq minimum tidak dihasilkan pada alternatif yang sama, maka dari dua alternatif tersebut dihitung kembali total waktu tunggu yang dihasilkan. Total waktu tunggu yang dihasilkan memberikan gambaran *leadtime* produksi. Alternatif 20 memberikan rata-rata total waktu tunggu lebih kecil jika dibandingkan dengan alternatif 25. Jadi, alternatif yang dipilih adalah alternatif 20.



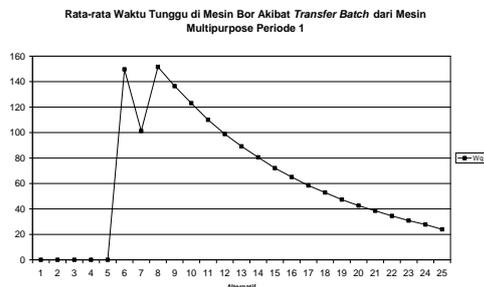
Gambar 5 Grafik Rata-rata Waktu Tunggu di Mesin Multipurpose Akibat Transfer Batch dari Mesin Bubut Ulir Luar Periode 1 (a). Panjang Antrian (b). Waktu Tunggu

Gambar 5 menunjukkan performansi mesin multipurpose akibat *transfer batch* dari mesin bubut ulir luar. Dari 25 alternatif ukuran *transfer batch* diperoleh rata-rata panjang antrian (Lq)

berkisar antara 0 sampai 36,995. Sedangkan rata-rata waktu tunggu (Wq) yang dihasilkan berkisar antara 0 menit sampai 310,989 menit. Nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada output yang keluar dari mesin bubut ulir luar karena ukuran *transfer batch* yang terlalu besar. Rata-rata panjang antrian dan rata-rata waktu tunggu yang paling kecil dihasilkan pada alternatif 25. Jadi, ukuran *transfer batch* dari mesin bubut ulir luar ke mesin multipurpose sebesar 100 unit *connector*.



(a)



(b)

Gambar 6 Grafik Performansi Mesin Bor Akibat *Transfer batch* dari Mesin Multipurpose pada Periode 1 (a). Panjang Antrian (b). Waktu Tunggu

Gambar 6 ini menunjukkan performansi mesin bor akibat *transfer batch* dari mesin multipurpose. Dari 25 alternatif ukuran *transfer batch* diperoleh rata-rata panjang antrian (Lq) berkisar antara 0 sampai 11,671. Sedangkan rata-rata waktu tunggu (Wq) yang dihasilkan berkisar antara 0 menit sampai 151,520 menit. Nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada output yang keluar dari mesin bubut ulir luar karena ukuran *transfer batch* yang terlalu besar. Rata-rata panjang antrian paling kecil dihasilkan dari alternatif 24, sedangkan rata-rata waktu tunggu yang paling kecil

dihasilkan pada alternatif 25. Karena Lq dan Wq minimum tidak dihasilkan pada alternatif yang sama, maka dari dua alternatif tersebut dihitung kembali total waktu tunggu yang dihasilkan. Total waktu tunggu yang dihasilkan memberikan gambaran *leadtime* produksi. Alternatif 25 memberikan rata-rata total waktu tunggu lebih besar daripada alternatif 24. Jadi, alternatif yang dipilih adalah alternatif 24.

Evaluasi *Transfer Batch Sizes*

Berdasarkan analisis diatas, ukuran *transfer batch* hasil simulasi kemudian diimplementasikan ke dalam model simulasi untuk melihat bagaimana kondisi model. Dari 12 periode perencanaan, hanya periode 1, 2, 4, 7, 8, dan 10 yang memberikan hasil optimal, sedangkan 6 periode lain mengalami kekurangan dalam memenuhi permintaan. Oleh karena itu, maka ukuran *transfer batch* dari tiap-tiap periode yang belum optimal dipilih dari alternatif lain yang juga memberikan performansi rata-rata panjang antrian dan/atau waktu tunggu yang kecil.

Pada periode 3, ukuran *transfer batch* dari mesin bubut potong ke mesin press 2 diganti menjadi 366 unit *connector* dan 988 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 11, yaitu alternatif dengan performansi terkecil ke-2 setelah alternatif 5. Untuk periode 5, ukuran *transfer batch* dari mesin bubut potong ke mesin press 2 diganti menjadi 227 unit *connector* dan 450 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 18, serta dari mesin press 2 ke mesin bubut ulir luar diganti menjadi 100 unit *connector* dan 100 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 18. Kedua alternatif tersebut merupakan alternatif dengan performansi terkecil ke-2 setelah alternatif terpilih sebelumnya. Untuk periode 6, ukuran *transfer batch* dari mesin bubut potong ke mesin press 2 diganti menjadi 170 unit *connector* dan 117 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 24 dan alternatif dengan performansi terkecil ke-4 setelah alternatif 10. Sedangkan dari mesin press 2 ke mesin bubut ulir luar diganti

menjadi 100 unit *connector* dan 100 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 26 yang merupakan alternatif dengan performansi terkecil ke-2 setelah alternatif 24.

Selain periode 3, 5, dan 6, periode 9 juga mengalami perubahan ukuran *transfer batch*. Ukuran *transfer batch* dari mesin bubut potong ke mesin press 2 diganti menjadi 534 unit *connector* dan 1713 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 4, yaitu alternatif dengan performansi terkecil ke-2 setelah alternatif pertama. Dan terakhir, untuk periode 12, ukuran *transfer batch* dari mesin bubut potong ke mesin press 2 diganti menjadi 181 unit *connector* dan 122 unit *box connector* yang merupakan ukuran *transfer batch* pada alternatif 27, yaitu alternatif dengan performansi terkecil ke-4 setelah alternatif terpilih sebelumnya. Karena ukuran *transfer batch* berubah, maka performansi model juga berubah. Performansi model setelah mengalami perubahan *transfer batch sizes* cenderung lebih besar dibandingkan dengan sebelum mengalami perubahan *transfer batch sizes*. Hal ini terjadi karena output yang dihasilkan setelah mengalami perubahan *transfer batch sizes* lebih besar dibandingkan mengalami perubahan *transfer batch sizes*.

Dari hasil pergantian alternatif di periode-periode tersebut, periode 12 tetap tidak dapat memenuhi permintaan untuk produk *connector* yang hanya sebesar 2400 unit dari demand 2800 unit. Tetapi, kekurangan tersebut dapat dipenuhi dari periode-periode sebelumnya yang menghasilkan inventori. Dengan menggunakan *transfer batch sizes* yang baru, inventori yang dihasilkan lebih kecil dari penelitian Yanni. Penurunan inventori yang terjadi sebesar 76,35% untuk produk *connector* yaitu dari 372 unit menjadi 48 unit. Sedangkan untuk produk *box connector* terjadi perubahan sebesar 50,59% yaitu dari 168 unit menjadi 340 unit.

KESIMPULAN

Besarnya *production lot* dan inventori dihitung menggunakan model program linier dengan pendekatan *multistage* dan dinamis. Sebagian besar ukuran *production lot* yang dihasilkan jumlahnya sama dengan permintaan selama 12 periode perencanaan. Selain itu, dari 12 periode perencanaan hanya ada satu periode yang menyimpan inventori. Selain menentukan *production lot*, dalam penelitian ini juga ditentukan besarnya *transfer batch* antar *stage* (mesin). Simulasi digunakan sebagai alat bantu dalam menentukan besarnya *transfer batch*. Ukuran *transfer batch* sangat bervariasi pada setiap transfer antara dua mesin di setiap periodenya. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan waktu proses antar *stage* (mesin) juga mempengaruhi perbedaan ukuran *transfer batch* antar *stage*.

Dalam penelitian ini banyak batasan masalah yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai analisis ukuran lot dengan mempersempit batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini. Untuk penelitian selanjutnya, objek penelitian dapat dikembangkan ke produk pesanan (*make-to-order*) dan dampak yang akan timbul pada kebijakan yang diusulkan pada Tugas Akhir ini. Jika pada penelitian ini sistem yang dikaji hanya berupa proses produksi komponen, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dikembangkan sampai proses perakitan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Banks, J., J.S Carson, B.L Nelson, (1996), *Discrete-Event System Simulation*, Prentice Hall, New Jersey.
2. Chase, Richard B., N.J. Aquilano, F. R. Jacobs, (1998), *Production and Operations Management, Manufacturing and Services 8th Edition*, McGraw Hill International.
3. Dimiyati, Tjutju T. dan Ahmad Dimiyati, (2003), *Operation Research*, Sinar Baru Algesindo, Bandung.
4. França1, Paulo M. et al., *A Heuristic for Lot-Sizing in Multi-Stage Systems*. Brazil