

MODEL OPTIMISASI *LOT* PRODUKSI PADA SISTEM PRODUKSI YANG TERDETERIORASI DENGAN INSPEKSI SAMPLING DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA KUALITAS UNTUK MEMINIMUMKAN TOTAL BIAYA *

Rr Anisha E. Fitriani, Arie Desrianty, Hendro Prassetiyo

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: rooroo.anisha@gmail.com

ABSTRAK

Makalah ini membahas mengenai pengembangan model dari metode Economic Order Quantity (EPQ) yang memiliki kekurangan karena mengasumsikan sistem produksi berjalan dengan sempurna dan produk yang dikirim pasti diterima dengan baik. Berdasarkan kekurangan dari metode EPQ kemudian penelitian ini melakukan pengembangan model yang membahas sistem produksi yang tidak sempurna akibat kesalahan inspeksi sampling dan masalah deteriorasi mesin dengan ketentuan pada inspeksi sensus akan menghasilkan tiga kemungkinan yaitu produk baik, produk rework dan produk reject. Pada perhitungan dipertimbangkan komponen biaya kegagalan internal dengan kriteria minimasi ongkos.

Kata kunci: *deteriorasi, kesalahan inspeksi sampling, komponen biaya kualitas*

ABSTRACT

This paper discuss about developing of a model from Economic Production Quantity (EPQ) method which has the shortage, because of assume the production system is running perfectly and products delivered definitely accepted. Based on the shortage of EPQ method, this research develops a model which discusses the imperfect production system due to the deterioration problems and the errors of sampling inspection with rules at census inspections will have three output that good product, rework product and reject product . On the calculation consider the internal failure costs and external failure costs which are part of the quality component costs, with criteria minimizing total cost.

Keywords: *deterioration, errors of sampling inspections, component of quality cost*

* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional

1. PENDAHULUAN

1.1. Pengantar

Metode *Economic Production Quantity* (EPQ) merupakan metode yang memperhitungkan penentuan ukuran lot produksi. Metode EPQ digunakan untuk mengendalikan persediaan berdasarkan periode pemesanan tertentu dengan asumsi sistem produksi berjalan sempurna tanpa menghasilkan produk cacat. Pada kenyataannya yang terjadi sistem produksi tidak selalu berjalan sempurna, sehingga memungkinkan adanya produk cacat.

Kekurangan metode EPQ, Ben Daya dan Rahim (2003) melakukan suatu penelitian untuk membuat model optimasi lot produksi pada persoalan *multistage*. Pada penelitiannya terdapat dua kemungkinan yang terjadi yaitu proses produksi berjalan dengan sempurna dan proses produksi mengalami kegagalan akibat penurunan performansi mesin dan kesalahan pada inspeksi sampling.

Menurut Kadarisman (2007) yaitu membuat model optimasi ukuran lot produksi untuk single item dan single stage yang mempunyai sistem produksi yang tidak sempurna akibat kegagalan produksi dan kesalahan pemeriksaan inspeksi sampling namun memiliki kekurangan yang sama dengan penelitian Ben-Daya dan Rahim (2003) tidak membahas masalah lot produksi yang ditolak dan komponen biaya kualitas khususnya biaya kegagalan eksternal.

Penelitian Ben-Daya Rahim (2003) dan penelitian Kadarisman (2007) memiliki kekurangan yang membuat Perdana (2008) mengembangkan model optimasi untuk menentukan ukuran lot produksi pada sistem yang tidak sempurna. Ben-Daya dan Rahim (2003) yang tidak membahas komponen biaya kualitas membuat Irawan (2013) melakukan penelitian pengembangan model yang mempertimbangkan sistem produksi tidak sempurna tidak hanya dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pemeriksaan namun pada kondisi mesin/ peralatan yang mengalami deteriorasi. Pada penelitiannya dipertimbangkan biaya kegagalan internal namun biaya kegagalan eksternal tidak dipertimbangkan sehingga masih memiliki kekurangan yang sama dengan penelitian Ben-Daya & Rahim (2003).

Wibowo (2014) telah melakukan penelitian dengan inspeksi sampling dengan mempertimbangkan adanya kesalahan operator pada saat pemeriksaan dan terdapatnya mesin/peralatan yang mengalami deteriorasi, sehingga kriteria menerima produk baik oleh operator pada saat pemeriksaan, yang akan langsung dikirim kepada konsumen bila ternyata merupakan produk cacat karena kesalahan pemeriksaan, akan dikenakan biaya penalti sebagai pengganti produk yang cacat. Pada kasus lain oleh Nisfi (2014) melakukan pengembangan model pada sistem produksi yang tidak sempurna dimana terdapat inspeksi sampling dan sensus. Ketika produk ditolak saat inspeksi sampling kemudian dilakukan inspeksi sensus untuk mengecek satu persatu lot produksi yang ditolak, kemudian jika cacat akan dilakukan proses rework yang menghasilkan dua kemungkinan yaitu cacat dan baik. Namun pada kasus ini ketika ada lot produksi yang terkirim dan cacat maka perusahaan akan melakukan produksi untuk periode selanjutnya sedangkan pada kasus real beberapa perusahaan menerapkan biaya complain untuk produk cacat yang terkirim.

1.2. Identifikasi Masalah

Penelitian ini membahas pengaruh deteriorasi pada mesin/peralatan yang mempengaruhi total ongkos produksi. Lot produksi yang optimal akan mempengaruhi total ongkos, maka akan dibuat model optimasi penentuan ukuran lot produksi pada sistem produksi yang tidak sempurna dengan mempertimbangkan komponen biaya kualitas. Sistem produksi yang tidak sempurna disebabkan oleh kesalahan deteriorasi dan kesalahan inspeksi sampling. Inspeksi sampling digunakan sebagai inspeksi utama karena memiliki banyak keuntungan yaitu biaya murah, waktu pemeriksaan lebih cepat dan produk yang diperiksa lebih banyak. Perusahaan juga lebih banyak menggunakan inspeksi sampling. Produk – produk yang menggunakan inspeksi sampling biasanya merupakan produk yang massal dan ukurannya tidak besar yaitu alat- alat elektronik. Pada penelitian ini metoda pemecahan masalah yang digunakan adalah pemograman dinamis.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Metode EOQ & EPQ

Economic Order Quantity (EOQ) merupakan ukuran untuk meminimalkan biaya total persediaan. Didalam EOQ pesanan (Q) diterima semua namun jika kondisi persediaan telah mencapai titik pemesanan ulang, maka pemenuhan permintaan ditunda dahulu. Pemenuhan permintaan dapat dilanjutkan, saat persediaan sudah sejumlah pesanan (Q) yang masih harus dipenuhi. Didalam metode EOQ diasumsikan bahwa seluruh pesanan diterima masuk ke persediaan. Pesanan dapat berupa produk yang didapat dari luar atau produk yang merupakan hasil produksi sendiri. Menggunakan dasar dari model EOQ, maka EPQ dapat ditentukan. EPQ mengasumsikan bahwa setiap sistem produksi selalu berjalan sempurna, sehingga tidak menghasilkan produk cacat.

2.2. Teori Persediaan

Menurut Tersine (1994) dalam Irawan (2013), persediaan adalah material yang disediakan pada saat idle atau keadaan menunggu penjualan dimasa yang akan datang, penggunaan atau transformasi.

2.3. Model Ben-Daya & Rahim (2003)

Tujuan penelitian Ben-Daya & Rahim (2003) adalah membuat model optimisasi untuk menentukan ukuran lot produksi pada persoalan *multistage* dengan proses produksi yang tidak sempurna. Di dalam model yang dibuatnya, mempertimbangkan terdapatnya kesalahan pemeriksaan nonconforming item di beberapa *stages*.

2.4. Model Kadarisman (2007)

Tujuan penelitian Kadarisman (2007) adalah mengembangkan suatu model optimisasi ukuran lot produksi untuk kasus *single item* dan *single stage* pada sistem produksi yang tidak sempurna dengan kriteria minimisasi total ongkos. Penelitian Kadarisman (2007) membahas mengenai masalah kegagalan dalam proses produksi dan sistem produksi yang tidak sempurna akibat kesalahan dalam inspeksi/ pemeriksaan. Kesalahan dalam inspeksi/ pemeriksaan akan memungkinkan probabilitas menerima produk cacat dan probabilitas menolak produk baik.

2.5. Model Perdana (2008)

Tujuan penelitian Perdana (2008) adalah menghasilkan suatu model optimisasi untuk menentukan ukuran lot produksi yang mempertimbangkan inspeksi sampling dengan kriteria minimisasi total ongkos. Penelitian Perdana (2008) membahas mengenai masalah kesalahan inspeksi sampling yang dapat menyebabkan konsumen mendapatkan produk gagal.

2.6. Model Indrapriyatna Et Al (2008)

Tujuan penelitian Indrapriyatna et al (2008) adalah melakukan pengembangan model penjadwalan *batch* untuk kondisi terdeteriorasi, yang dapat menyebabkan produk menjadi *nonconforming*. Sistem produksi yang mengalami deteriorasi akan bergeser dari status *in-control* menjadi status *out-of-control*. Menurut Tseng (1996) dalam Indrapriyatna et al (2008), sistem yang bergeser dari status *in-control* menjadi status *out-of-control* dapat dikembalikan menjadi *in-control* lagi dengan aktivitas restorasi. Didalam penelitian ini sudah mempertimbangkan komponen biaya kualitas, dengan tujuan penelitian meminimasi total biaya simpan dan biaya kualitas.

2.7. Model Irawan (2013)

Tujuan penelitian Irawan (2013) adalah menghasilkan model optimisasi lot produksi pada sistem produksi yang mengalami deteriorasi dengan kriteria minimasi total ongkos. Penelitian Irawan (2013) membahas mengenai masalah deteriorasi yang dapat dialami fasilitas produksi. Deteriorasi disebabkan karena terjadinya penurunan kinerja yang dapat menghasilkan produk tidak baik, hal itu disebabkan karena pemakaian mesin/peralatan yang terus menerus dilakukan atau umur pakai mesin/peralatan tersebut sudah habis masa pemakaiannya.

2.8. Model Wibowo (2014)

Tujuan penelitian Wibowo (2014) adalah menghasilkan model optimisasi *lot* produksi pada sistem yang mengalami deteriorasi dengan kriteria minimasi total ongkos, penelitian Wibowo membahas tentang deteriorasi mesin dan kesalahan inspeksi *sampling*. Didalam penelitian ini sudah mempertimbangkan komponen biaya kualitas, dengan tujuan penelitian meminimasi total biaya

2.9. Model Nisfi (2014)

Tujuan penelitian Nisfi (2014) adalah menghasilkan model optimisasi *lot* produksi pada sistem yang mengalami deteriorasi dengan kriteria minimasi total ongkos, penelitian Nisfi membahas tentang deteriorasi mesin dan kesalahan inspeksi *sampling* dan produk *rework* yang dihasilkan tidak selalu baik.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Langkah-langkah pemecahan masalah dalam pengembangan model ini adalah:

1. Berdasarkan studi literatur metode EOQ, EPQ, Model Ben- Daya dan Rahim (2003), distribusi binomial, pemograman dinamis, Model Irawan (2013), Model Nisfi (2014) dan Model Wibowo (2013) untuk pengetahuan penelitian.
2. Identifikasi masalah yang ada yaitu perlu adanya pengembangan model optimisasi lot produksi yang tidak sempurna akibat deteriorasi mesin dan inspeksi *sampling*.
3. Pengembangan model dilakukan dengan pengaruh sistem produksi yang tidak sempurna akibat deteriorasi mesin dan inspeksi *sampling*, mengembangkan dari asumsi sebelumnya bahwa produk cacat dapat semuanya di *rework*.
4. Pengujian Model dan analisis, dilakukan dengan menggunakan empat set data setelah empat set data selesai dilakukan analisis berdasarkan proses dan hasil tujuan. Data yang digunakan adalah data hipotetik.
5. Kesimpulan dan saran, membuat kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

Peta posisi penelitian terhadap beberapa penelitian yang lalu dapat dilihat pada Gambar 2.

Model Optimisasi Lot Produksi pada Sistem Produksi yang Terdeteriorasi dengan Inspeksi Sampling dengan Mempertimbangkan Biaya Kualitas Untuk Meminimumkan Total Biaya

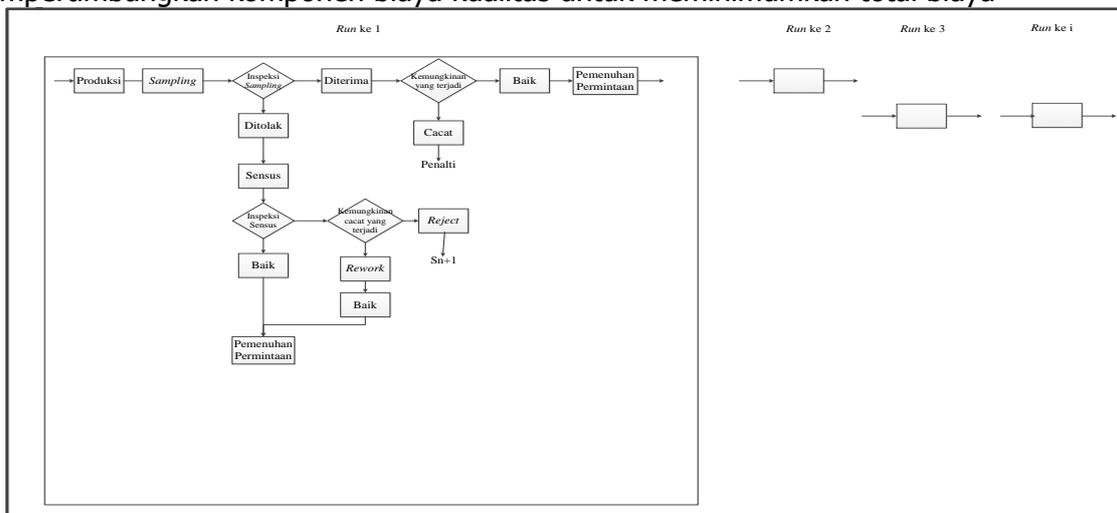
	Keterangan	EPQ	Ben-Daya (2003)	Kadarisman (2007)	Irawan (2013)	Wibowo (2014)	Penelitian
	Pendekatan	Kontinu	Kontinu	Diskrit	Diskrit	Diskrit	Diskrit
Kriteria	Kondisi	Statis & Deterministik	Dinamis & Probabilistik	Dinamis & Probabilistik	Dinamis & Probabilistik	Dinamis & Probabilistik	Dinamis & Probabilistik
	Komponen Ongkos	Proses selalu terkendali sehingga seluruh produk yang dihasilkan berkualitas baik dan fasilitas produksi tidak pernah gagal/rusak	Proses tidak selalu terkendali, sehingga sistem produksi tidak sempurna dan kegagalan produk mungkin terjadi	Proses tidak terkendali dengan penentuan ukuran lot produksi pada sistem produksi yang tidak sempurna dengan kriteria minimasi total ongkos	proses tidak terkendali dengan penentuan ukuran lot produksi pada sistem produksi yang mengalami deteriorasi dengan kriteria minimasi ongkos	Proses tidak terkendali sehingga sistem produksi tidak sempurna akibat mengalami deteriorasi dan kesalahan inspeksi <i>sampling</i> . Kriteria minimasi ongkos	Proses tidak terkendali sehingga sistem produksi tidak sempurna akibat mengalami deteriorasi dan kesalahan inspeksi <i>sampling</i> . Saat inspeksi sensus produk akan terbagi menjadi produk reject, rework dan baik. Kriteria minimasi ongkos
	Proses Inspeksi	ongkos <i>setup</i> , ongkos produksi, ongkos simpan	ongkos pengendalian kualitas, ongkos <i>setup</i> , ongkos pengadaan persediaan, ongkos pemeriksaan, ongkos perbaikan	ongkos <i>setup</i> , ongkos produksi, ongkos penalti	ongkos <i>setup</i> , ongkos produksi, ongkos penalti, ongkos pengendalian kualitas	ongkos <i>setup</i> , ongkos produksi, ongkos penalti, ongkos pengendalian kualitas, komponen biaya kualitas (biaya kegagalan internal dan eksternal)	ongkos <i>setup</i> , ongkos produksi, ongkos penalti, ongkos pengendalian kualitas, komponen biaya kualitas (biaya kegagalan internal) dan biaya penalti
	Fungsi Tujuan	<i>Sampling</i>	<i>Sampling</i>	<i>Sampling</i>	Sensus	<i>Sampling</i> dan Sensus	<i>Sampling</i> dan Sensus
	Variabel Keputusan	Minimasi Total Ongkos	Minimasi Ekspektasi Total Cost (ETC)	Minimasi Ekspektasi Total Cost (ETC)	Minimasi Ekspektasi Total Cost (ETC)	Minimasi Ekspektasi Total Cost (ETC)	Minimasi Ekspektasi Total Cost (ETC)
	Metode Solusi	Produksi, <i>Reorder Point</i>	Ukuran Lot Produksi	Qj : Ukuran lot produksi pada setiap <i>run</i> produksi ke-j	Qj : Ukuran lot produksi pada setiap <i>run</i> produksi ke-j	Qj : Ukuran lot produksi pada setiap <i>run</i> produksi ke-j	Qj : Ukuran lot produksi pada setiap <i>run</i> produksi ke-j
	Status yang terungkap	Analitik	<i>Transision Probability</i>	Pemrograman Dinamis Probabilistik	Pemrograman Dinamis Probabilistik	Pemrograman Dinamis Probabilistik	Pemrograman Dinamis Probabilistik
		Tidak ditemukan dalam literatur	Produk <i>non-conforming</i>	Jumlah <i>Demand</i> yang belum terpenuhi	Jumlah <i>Demand</i> yang belum terpenuhi	Jumlah <i>Demand</i> yang belum terpenuhi	

Gambar 2. Peta Posisi Penelitian

4. PENGEMBANGAN MODEL

4.1. Deskripsi Sistem

Pada penelitian ini akan dibuat model optimasi lot produksi sesuai dengan kondisi- kondisi yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 3 Sistem penelitian inilah yang akan membantu peneliti dalam menggambarkan situasi yang terjadi nantinya bertujuan untuk menghasilkan model optimasi lot produksi pada sistem produksi yang tidak sempurna dengan mempertimbangkan komponen biaya kualitas untuk meminimumkan total biaya



Gambar 3. Deskripsi Sistem

Seperti yang terlihat pada Gambar 3, produk yang harus diproduksi sebanyak jumlah permintaan konsumen (D). Tetapi mesin-mesin atau peralatan yang dimiliki memiliki kapasitas, sehingga untuk mengatasi jumlah permintaan yang melebihi kapasitas produksi perlu ditentukan berapa ukuran lot produksinya (Q). Ada dua hal yang perlu di perhitungkan dalam menentukan ukuran lot produksi (Q), yaitu ukuran sampel (n) dan banyak jumlah run produksi yang digunakan. Ukuran sampel (n) perlu diperhitungkan, karena nantinya produk yang menjadi sampel (n) tidak ikut dikirim untuk pemenuhan permintaan. Banyaknya jumlah run produksi yang digunakan maksudnya adalah ukuran lot produksi (Q) yang digunakan terhadap jumlah permintaan konsumen (D) akan mempengaruhi banyaknya run produksi yang perlu dilakukan. Tetapi untuk penelitian ini run produksinya diasumsikan hanya bisa dikerjakan hingga run produksi ke-3.

4.2. Daftar Notasi Penelitian

Tabel 2 menunjukkan notasi-notasi yang digunakan dalam penelitian, sehingga akan memudahkan dalam pembacaan dan penyusunan model.

Tabel 2. Notasi Penelitian

j	: Run produksi, (j= 1, 2, 3,...,j)	B4	: Biaya rework produk yang di rework (Rp)
Qj	: Ukuran lot produksi pada setiap run produksi ke-j (unit)	B5	: Biaya rework produk yang di reject (Rp)
n	: Ukuran sampel (unit)	B6	: Biaya rework produk yang baik (Rp)
W1	: Waktu inspeksi sampling (menit/unit)	B7	: Biaya simpan produk rework (Rp)
W2	: Waktu rework (menit/unit)	B8	: Biaya simpan produk reject (Rp)
W3	: Waktu rework produk reject (menit/unit)	B9	: Biaya simpan produk baik (Rp)
W4	: Waktu rework produk baik (menit/unit)	B10	: Biaya inspeksi sensus (Rp)
W5	: Waktu inspeksi sensus (menit/unit)	B11	: Biaya simpan inspeksi sensus (Rp)
$1-P_{aj}$: Probabilitas jumlah produk cacat untuk inspeksi sampling pada setiap run produksi ke-j (%)	B12	: Biaya Complain (Rp/unit)
Paj	: Probabilitas jumlah produk baik untuk inspeksi sampling pada setiap run produksi ke-j (%)	C1	: Ongkos set-up (Rp)
$1-P_{cj}$: Probabilitas jumlah produk baik untuk inspeksi sensus pada setiap run produksi ke-j (%)	C2	: Ongkos produksi (Rp/unit)
Pcj	: Probabilitas jumlah produk cacat untuk inspeksi sensus pada setiap run produksi ke-j (%)	C3	: Ongkos inspeksi sampling (Rp/menit)
Pgj	: Probabilitas kegagalan produk yang mungkin terjadi setiap run ke-j (%)	C4	: Ongkos simpan inspeksi sampling (Rp/menit)
Pg0	: Probabilitas kegagalan produk yang mungkin terjadi setiap run ke-0 (%)	C5	: Ongkos rework (Rp/menit)
x	: Jumlah produk cacat	C6	: Ongkos simpan rework (Rp/menit)
p	: Probabilitas produk gagal (%)	C7	: Ongkos inspeksi sensus (Rp/menit)
q	: Probabilitas produk baik (%)	C8	: Ongkos simpan inspeksi sensus (Rp/menit)
B1	: Biaya produksi (Rp)	C9	: Ongkos penalti (Rp/unit)
B2	: Biaya inspeksi sampling (Rp)	C10	: Ongkos Complain (Rp/unit)
B3	: Biaya simpan inspeksi sampling (Rp)		

4.3. Biaya Kegagalan Internal

Biaya kegagalan internal muncul karena ketika sejumlah produk tidak memenuhi spesifikasi kualitas sebelum produk di kirim ke konsumen, yang mencakup: (1) Biaya untuk memeriksa seluruh produk (inspeksi sampling dan inspeksi sensus), (2) Biaya simpan produk selama pemeriksaan (biaya simpan inspeksi sampling dan inspeksi sensus), (3) Biaya untuk mengerjakan ulang produk cacat, (4) Biaya produk selama mengalami proses *rework*

$$Total\ cost = [C_1 + (Q_i \times C_2)] + [n \times W_1 \times C_3] + [Q^i \times W^1 \times C^4] + [(1-P_{ai}) \times P_{rw} \times (Q_i - n) \times W_2 \times C_5] + [(1-P_{ai}) \times P_{rj} \times (Q_i - n) \times W_3 \times C_5] + [(1-P_{ai}) \times P_b \times (Q_i - n) \times W_4 \times C_5] + [(1-P_{ai}) \times P_{rw} \times (Q_i - n) \times W_2 \times C_6] + [(1-P_{ai}) \times P_{rj} \times (Q_i - n) \times W_3 \times C_6] + [(1-P_{ai}) \times P_b \times (Q_i - n) \times W_4 \times C_6] + [(1-P_{ai}) \times P_{rw} \times (Q_i - n) \times W_5 \times C_7] + [(1-P_{ai}) \times (Q_i - n) \times W_5 \times C_8] \quad (1)$$

4.4. Formulasi Pemograman Dinamis Probabilistik

Penelitian ini memerlukan suatu model optimasi dalam penentuan ukuran lot produksi pada sistem produksi yang tidak sempurna.

Tahap

Pada penelitian ini keputusan ukuran lot produksi dilakukan pada setiap run produksi ke-i, dengan $i = 1,2,3,\dots, i$.

Variabel keputusan

Pada penelitian ini variabel keputusan yang digunakan yaitu ukuran lot produksi pada setiap run produksi ke-i (Q_i) pada sistem produksi yang mengalami deteriorasi dengan mempertimbangkan kesalahan pemeriksaan pada saat sampling dan biaya kualitas.

Status

Pada penelitian ini status (S_i) adalah jumlah permintaan konsumen yang harus dipenuhi. Untuk pemilihan keputusan status di run produksi ke-i dipengaruhi berdasarkan kondisi produk yang mengalami proses inspeksi.

Fungsi Tujuan

Pada penelitian ini fungsi tujuannya adalah minimasi total biaya.

Persamaan rekursif dari pemograman dinamis probabilistik yang meminimasi total biaya adalah :

$$f_j(S_j, Q_j) = \min [B_1] + [B_2] + [B_3] + [B_4 + B_5 + B_6] + [B_7 + B_8 + B_9] + [B_{10}] + [B_{11}] + [B_{12}] + f_{j+1} * (S_{j+1}) \tag{2}$$

Sehingga:

$$f_j(S_j, Q_j) = \min \sum_{ii=1} [C_1 + (Q_i \times C_2)] + [n \times W_1 \times C_3] + [Q_i \times W_1 \times C_4] + [(1-P_{ai}) \times P_{rw} \times (Q_i - n) \times W_2 \times C_5] + [(1-P_{ai}) \times P_{rj} \times (Q_i - n) \times W_3 \times C_5] + [(1-P_{ai}) \times P_b \times (Q_i - n) \times W_4 \times C_5] + [(1-P_{ai}) \times P_{rw} \times (Q_i - n) \times W_2 \times C_6] + [(1-P_{ai}) \times P_{rj} \times (Q_i - n) \times W_3 \times C_6] + [(1-P_{ai}) \times P_b \times (Q_i - n) \times W_4 \times C_6] + [(1-P_{ai}) \times P_{rw} \times (Q_i - n) \times W_5 \times C_7] + [(1-P_{ai}) \times (Q_i - n) \times W_5 \times C_8] + [f_{j+1} * (S_{j+1})] \tag{3}$$

5. PENGUJIAN ALGORITMA DAN ANALISIS

5.1. Pengujian Model

Pengujian model optimasi penentuan ukuran lot ini dilakukan untuk mengetahui apakah cara kerja model mencapai tujuan yang diinginkan atau tidak. Pengujian dilakukan pada beberapa tahap yaitu:

1. Tahap pertama dilakukan yang bertujuan untuk mengetahui cara kerja model menghasilkan minimasi ongkos dengan beberapa set data.
2. Tahap kedua dilakukan yang bertujuan untuk menguji pengaruh parameter demand, yaitu demand lebih besar dari kapasitas ($D > K$), demand sama dengan kapasitas ($D = K$), dan demand lebih kecil dari kapasitas ($D < K$). Perubahan parameter ongkos set up, ongkos produksi, ongkos penalti, dan ongkos rework yang mengalami kenaikan 30%.
3. Tahap ketiga bertujuan untuk menganalisis perubahan parameter sensitive terhadap solusi optimal.

1. Langkah 1

Pada langkah ini akan ditentukan nilai parameter set data pengujian dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan ukuran lot yang harus dipenuhi pada setiap run produksi ke-j, untuk menentukan permintaan yang harus dipenuhi harus memperhatikan jumlah produk yang dibuat dengan memperhatikan sampel yang diambil pada setiap lot produksi. Data-data tersebut terdapat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Nilai Parameter Set Data 1

Notasi	Nilai	Notasi	Nilai	Notasi	Nilai
D	7	C1	10	C8	1
K	5	C2	5	C9	100
N	2	C3	2	I	20%
W1	1	C4	0,5	Pg0	15%
W2	2	C5	1	C10	20
W3	1	C6	3	p incorrect	0,4
W4	1	C7	3		
W5	1	C1	10		

Tabel 3. Jumlah Permintaan dan Produksi Set Data 1

j	Sj	Qj	n	Sampling		Sensus		Rework		Sn+1
				Sn+1 (Tr)	Sn+1 (TI)	Sn+1 (baik)	Sn+1 (cacat)	Sn+1 (baik)	Sn+1 (reject)	
1	7	3	2	6	7	6	7	6	7	6,7
		4		5	7	5,6	6,7	5,6	6,7	5,6,7
		5		4	7	4,5,6	5,6,7	4,5,6	5,6,7	4,5,6,7
2	4	3	2	3	4	3	4	3	4	3,4
		4		2	4	2,3	3,4	2,3	3,4	2,3,4
		5		1	4	1,2,3	2,3,4	1,2,3	2,3,4	1,2,3,4
	5	3	2	4	5	4	5	4	5	4,5
		4		3	5	3,4	4,5	3,4	4,5	3,4,5
		5		2	5	2,3,4	3,4,5	2,3,4	3,4,5	2,3,4,5
	6	3	2	5	6	5	6	5	6	5,6
		4		4	6	4,5	5,6	4,5	5,6	4,5,6
		5		3	6	3,4,5	4,5,6	3,4,5	4,5,6	3,4,5,6
	7	3	2	6	7	6	7	6	7	6,7
		4		5	7	5,6	6,7	5,6	6,7	5,6,7
		5		4	7	4,5,6	5,6,7	4,5,6	5,6,7	4,5,6,7
3	1	3	2	0	1	0	1	0	1	0,1
		4		1	2	1	2	1	2	1,2
		5		0	2	0,1	1,2	0,1	1,2	0,1,2
	3	3	2	2	3	2	3	2	3	2,3
		4		1	3	1,2	2,3	1,2	2,3	1,2,3
		5		0	3	0,1,2	1,2,3	0,1,2	1,2,3	0,1,2,3
	4	3	2	3	4	3	4	3	4	3,4
		4		2	4	2,3	3,4	2,3	3,4	2,3,4
		5		1	4	1,2,3	2,3,4	1,2,3	2,3,4	1,2,3,4
	5	3	2	4	5	4	5	4	5	4,5
		4		3	5	3,4	4,5	3,4	4,5	3,4,5
		5		2	5	2,3,4	3,4,5	2,3,4	3,4,5	2,3,4,5
	6	3	2	5	6	5	6	5	6	5,6
		4		4	6	4,5	5,6	4,5	5,6	4,5,6
		5		3	6	3,4,5	4,5,6	3,4,5	4,5,6	3,4,5,6
	7	3	2	6	7	6	7	6	7	6,7
		4		5	7	5,6	6,7	5,6	6,7	5,6,7
		5		4	7	4,5,6	5,6,7	4,5,6	5,6,7	4,5,6,7

2. Langkah 2

Pada langkah ini, menentukan probabilitas kegagalan pada setiap run yang dinotasikan dengan P_{gj} yang terus meningkat pada setiap run produksi. Nilai probabilitas kegagalan setiap run produksi dapat dilihat pada Tabel 4. Pada langkah ini juga dihitung nilai probabilitas inspeksi sampling, sensus, dan rework seperti pada Tabel 5, 6, dan 7.

Tabel 4. Nilai Probabilitas Kegagalan Setiap Run Produksi

Probabilitas Kegagalan Set Data 1			
	Run ke-1	Run ke-2	Run ke-3
P_{gj}	0,18	0,22	0,26
1- P_{gj}	0,82	0,78	0,74

Tabel 5. Nilai Probabilitas Inspeksi Sampling Setiap Run Produksi Set Data 1

Inspeksi Sampling				
j	Produksi (Q)	Sampel (n)	Probabilitas Penerimaan (P_a)	Probabilitas Penolakan ($1-P_a$)
1	3	2	0,67	0,33
	4			
	5			
2	3	2	0,61	0,39
	4			
	5			
3	3	2	0,55	0,45
	4			
	5			

Tabel 6. Nilai Probabilitas Inspeksi Sensus Setiap Run Produksi Set Data 1

Untuk Inspeksi Sensus				
j	Jumlah yang Diperiksa (Q-n)	Jumlah Produk Cacat	Probabilitas Ditemukannya Produk Cacat (P_c)	Probabilitas Ditemukannya Produk Baik ($1-P_c$)
1	0	0	1,00	0,00
		0	0,82	0,18
	1	1	0,18	0,82
		0	0,67	0,33
	2	1	0,30	0,70
		2	0,03	0,97
		0	0,55	0,45
	3	1	0,36	0,64
		2	0,08	0,92
		3	0,01	0,99

Tabel 6. Nilai Probabilitas Inspeksi Sensus Setiap *Run* Produksi Set Data 1 (lanjutan)

Untuk Inspeksi Sensus					
j	Jumlah yang Diperiksa (Q-n)	Jumlah Produk Cacat	Probabilitas Ditemukannya Produk Cacat (Pc)	Probabilitas Ditemukannya Produk Baik (1-Pc)	
2	0	0	1,00	0,00	
		1	0	0,78	0,22
			1	0,22	0,78
	2	0	0,61	0,39	
		1	0,34	0,66	
		2	0,05	0,95	
	3	0	0	0,48	0,52
			1	0,40	0,60
			2	0,11	0,89
		3	0	0,01	0,99
			1	0,01	0,99
			3	0,01	0,99
3	0	0	1,00	0,00	
		1	0	0,74	0,26
			1	0,26	0,74
	2	0	0,55	0,45	
		1	0,38	0,62	
		2	0,07	0,93	
	3	0	0	0,41	0,59
			1	0,43	0,57
			2	0,15	0,85
		3	0	0,02	0,98
			1	0,02	0,98
			3	0,02	0,98

Tabel 7. Nilai Probabilitas *rework* Setiap *Run* Produksi Set Data 1

Probabilitas <i>rework</i>					
j	Jumlah <i>Rework</i> (r)	Jumlah Produk Cacat	Probabilitas Ditemukannya Produk Cacat (Pc)	Probabilitas Ditemukannya Produk Baik (1-Pc)	
1	0	0	1,00	0,00	
		1	0	0,82	0,18
			1	0,18	0,82
	2	0	0,67	0,33	
		1	0,30	0,70	
		2	0,03	0,97	
	3	0	0	0,55	0,45
			1	0,36	0,64
			2	0,08	0,92
		3	0	0,01	0,99
			1	0,01	0,99
			3	0,01	0,99
2	0	0	1,00	0,00	
		1	0	0,78	0,22
			1	0,22	0,78
	2	0	0,61	0,39	
		1	0,34	0,66	
		2	0,05	0,95	
	3	0	0	0,48	0,52
			1	0,40	0,60
			2	0,11	0,89
		3	0	0,01	0,99
			1	0,01	0,99
			3	0,01	0,99
3	0	0	1,00	0,00	
		1	0	0,74	0,26
			1	0,26	0,74
	2	0	0,55	0,45	
		1	0,38	0,62	
		2	0,07	0,93	
	3	0	0	0,41	0,59
			1	0,43	0,57
			2	0,15	0,85
		3	0	0,02	0,98
			1	0,02	0,98
			3	0,02	0,98

3. Langkah 3

Pada langkah 3 ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan model optimasi *lot* produksi. Berikut merupakan contoh perhitungan model optimasi ukuran *lot* produksi dengan menggunakan pemrograman dinamis probabilistik berdasarkan *backward procedure* dengan jumlah permintaan = 7 unit dan kapasitas produksi = 5 unit. Hasil perhitungan terdapat pada Tabel 8 sampai 12 dan solusi optimal pada Gambar 2.

Tabel 8. Perhitungan *Total Cost*

TOTAL COST														
Run ke- 3	Biaya Setup	Biaya Produksi	Biaya Inspeksi <i>sampling</i>	Biaya Simpan Inspeksi <i>Sampling</i>	biaya inspeksi sensus			biaya simpan inspeksi sensus			biaya <i>rework</i>	biaya simpan <i>rework</i>	biaya complain/penalti	<i>total cost</i>
					reject	rework	baik	reject	rework	baik				
Q=3	10,00	15,00	4,00	1,50	0,27	0,14	0,14	0,14	0,07	0,07	0,406094	0,45121536	4,3902771	36,56
Q=4	10,00	20,00	4,00	2,00	0,54	0,27	0,27	0,27	0,14	0,14	0,812188	0,90243072	8,7805542	48,12
Q=5	10,00	25,00	4,00	2,50	0,81	0,41	0,41	0,41	0,20	0,20	1,218281	1,35364608	13,170831	59,68
Run ke- 2														
Q=3	10,00	15,00	4,00	1,50	0,23	0,12	0,12	0,12	0,06	0,06	0,34681	0,385344	4,917248	36,84
Q=4	10,00	20,00	4,00	2,00	0,46	0,23	0,23	0,23	0,12	0,12	0,693619	0,770688	9,834496	48,69
Q=5	10,00	25,00	4,00	2,50	0,69	0,35	0,35	0,35	0,17	0,17	1,040429	1,156032	14,751744	60,53
Run ke- 1														
Q=3	10,00	15,00	4,00	1,50	0,20	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,29484	0,3276	5,3792	37,09
Q=4	10,00	8,00	4,00	2,00	0,39	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,58968	0,6552	10,7584	37,18
Q=5	10,00	2,50	4,00	2,50	0,59	0,29	0,29	0,29	0,15	0,15	0,88452	0,9828	16,1376	38,77

Tabel 9. Hasil Perhitungan Set Data 1 *Run* Produksi Ke-4

S_4	f_4^*
0	0
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500
6	600
7	700

Tabel 10. Hasil Perhitungan Set Data 1 *Run* Produksi Ke-3

$S_3 \backslash Q_3$	3	4	5	f_3^*	Q_3^*
1	48,26	-	-	48,26	3
2	148,26	74,54	-	74,54	4
3	248,26	177,57	103,86	103,86	5
4	348,26	280,60	212,17	212,17	5
5	448,26	383,64	320,48	320,48	5
6	548,26	486,67	428,79	428,79	5
7	648,26	568,48	537,09	537,09	5

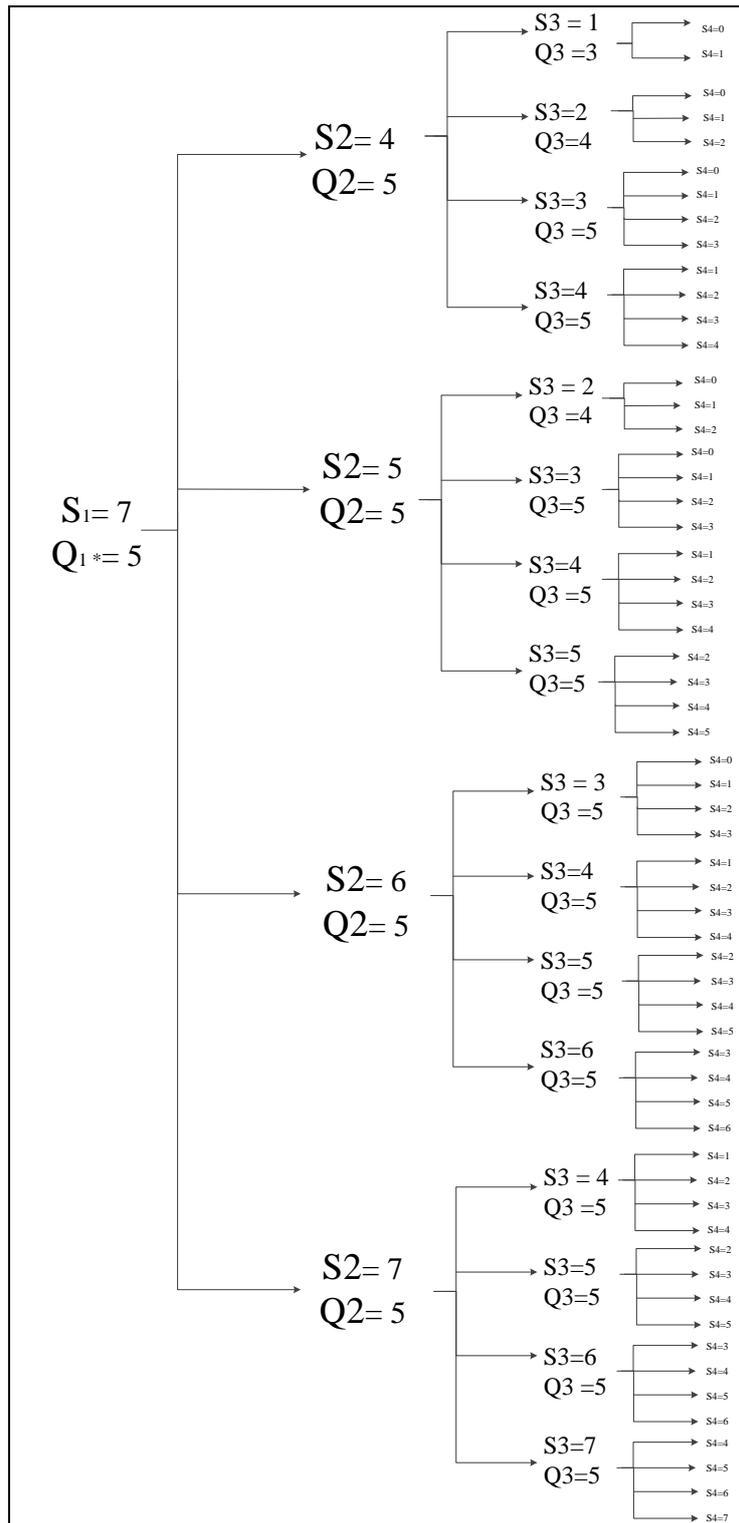
Tabel 11. Hasil Perhitungan Set Data 1 *Run* Produksi Ke-2

$S_2 \backslash Q_2$	3	4	5	f_2^*	Q_2^*
4	151,52	133,82	122,89	122,89	5
5	259,83	179,68	157,56	157,56	5
6	368,14	290,79	212,62	212,62	5
7	476,45	401,90	328,62	328,62	5

Tabel 12 Hasil Perhitungan Set Data 1 *Run* Produksi Ke-1

$S_1 \backslash Q_1$	3	4	5	f_1^*	Q_1^*
7	233,28	210,11	181,89	181,89	5

Model Optimisasi *Lot* Produksi pada Sistem Produksi yang Terdeteriorasi dengan Inspeksi Sampling dengan Mempertimbangkan Biaya Kualitas Untuk Meminimumkan Total Biaya



Gambar 2. Solusi Optimal

Berdasarkan solusi optimal tersebut, diperoleh bahwa permintaan yang harus dipenuhi pada *run* produksi ke-1 adalah $S_1 = 7$, maka kebijakan jumlah produksi optimal yang harus diproduksi adalah $Q_1^* = 5$ unit. Hal ini menunjukkan bahwa permintaan yang tidak terpenuhi harus dipenuhi pada *run* selanjutnya.

Setelah melakukan pengujian model optimasi ukuran *lot* terhadap set data 1, set data 2, dan set data 3, tahap selanjutnya akan dilakukan pengujian model optimasi ukuran *lot* terhadap

set data 4. Pada set data 4 dilakukan perhitungan dengan permintaan dan kapasitas produksi sesuai dengan set data 1 yaitu D= 7 unit dan K= 5 unit. Pada set data 4 ini, terdapat 4 parameter yang dijadikan sebagai acuan. Keempat parameter tersebut yaitu, ongkos *set up*, ongkos produksi, ongkos penalti, ongkos *complain*, dan ongkos *rework* yang mengalami kenaikan sebesar 30%. Rekapitulasi total ongkos seperti pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi Total Ongkos

Parameter		Biaya	Keterangan				
Set Data 1	D>K	181,89	Permintaan = 7 unit dan kapasitas produksi = 5 unit				
Set Data 2	D=K	130,51	Permintaan = 7 unit dan kapasitas produksi = 7 unit				
Set Data 3	D<K	87,85	Permintaan = 4 unit dan kapasitas produksi = 5 unit				
Set Data 4	D>K	191,48	Parameter berubah yang semula Ongkos Setup awal = 10 terjadi kenaikan menjadi 13				
				Set Data 4.1	Ongkos Setup = 13 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3 Ongkos Complain = 20		
				196,00	Parameter berubah yang semula Ongkos Produksi awal = 5 terjadi kenaikan menjadi 6,5		
						Set Data 4.2	Ongkos Setup = 10 Ongkos Complain = 20 Ongkos Produksi = 6,5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3
						193,84	Parameter berubah yang semula Ongkos Complain awal = 20 terjadi kenaikan menjadi 29
		Set Data 4.3	Ongkos Complain = 29 Ongkos Setup = 10 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3				
		182,71	Parameter berubah yang semula Ongkos Rework awal = 1 terjadi kenaikan menjadi 1,3				
				Set Data 4.4	Ongkos Setup = 10 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3,9 Ongkos Complain = 20		
		190,71	Parameter berubah yang semula Ongkos Pinalti awal = 100 terjadi kenaikan menjadi 130				
				Set Data 4.5	Ongkos Setup = 10 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 130 Ongkos Rework = 3 Ongkos Complain = 20		
				227,17	Parameter berubah yang semula setup awal = 10 terjadi kenaikan menjadi 13, ongkos produksi awal = 5 terjadi kenaikan menjadi 6,5, ongkos pinalti awal = 100 terjadi kenaikan menjadi 130, ongkos rework awal = 1 terjadi kenaikan menjadi 1,3		
		Set Data 4.6	Ongkos Setup = 13 Ongkos Produksi = 6,5 Ongkos Penalti = 130 Ongkos Rework = 1,3 Ongkos Complain = 29				

Tabel 14. Rekapitulasi Total Ongkos penelitian Wibowo (2014)

Parameter		Biaya	Keterangan				
Set Data 1	D>K	144,62	Permintaan = 7 unit dan kapasitas produksi = 5 unit				
Set Data 2	D=K	100,41	Permintaan = 7 unit dan kapasitas produksi = 7 unit				
Set Data 3	D<K	90,41	Permintaan = 4 unit dan kapasitas produksi = 5 unit				
Set Data 4	D>K	153,62	Parameter berubah yang semula Ongkos Setup awal = 10 terjadi kenaikan menjadi 13				
				Set Data 4.1	Ongkos Setup = 13 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3 Ongkos Complain = 20		
				164,12	Parameter berubah yang semula Ongkos Produksi awal = 5 terjadi kenaikan menjadi 6,5		
						Set Data 4.2	Ongkos Setup = 10 Ongkos Complain = 20 Ongkos Produksi = 6,5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3
						149,31	Parameter berubah yang semula Ongkos Complain awal = 20 terjadi kenaikan menjadi 29
		Set Data 4.3	Ongkos Complain = 29 Ongkos Setup = 10 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3				
		145,49	Parameter berubah yang semula Ongkos Rework awal = 1 terjadi kenaikan menjadi 1,3				
				Set Data 4.4	Ongkos Setup = 10 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 100 Ongkos Rework = 3,9 Ongkos Complain = 20		
		144,62	Parameter berubah yang semula Ongkos Pinalti awal = 100 terjadi kenaikan menjadi 130				
				Set Data 4.5	Ongkos Setup = 10 Ongkos Produksi = 5 Ongkos Penalti = 130 Ongkos Rework = 3 Ongkos Complain = 20		
				178,69	Parameter berubah yang semula setup awal = 10 terjadi kenaikan menjadi 13, ongkos produksi awal = 5 terjadi kenaikan menjadi 6,5, ongkos pinalti awal = 100 terjadi kenaikan menjadi 130, ongkos rework awal = 1 terjadi kenaikan menjadi 1,3		
		Set Data 4.6	Ongkos Setup = 13 Ongkos Produksi = 6,5 Ongkos Penalti = 130 Ongkos Rework = 1,3 Ongkos Complain = 29				

5.2. Analisis

Berdasarkan hasil pengujian model optimasi ukuran lot produksi, maka dilakukan analisis sensitivitas dari model dengan perubahan 4 parameter, yaitu ongkos set up, ongkos produksi, ongkos penalti, dan ongkos proses rework. Berikut merupakan analisis dari pengujian model optimasi ukuran lot produksi yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil rekapitulasi total biaya untuk kondisi pada set 4.2 menghasilkan kenaikan total biaya yang lebih besar dibanding yang lain karena ongkos produksi dipengaruhi oleh banyaknya produksi.
2. Meskipun saat pengujian sensitivitas diset data 4 dilakukan perubahan nilai parameter biaya set up, ongkos produksi, ongkos complain, ongkos rework, ongkos penalti dan kombinasi dari parameter tersebut namun memiliki solusi optimal yang sama dengan set data 1.
3. Ongkos pada penelitian sebelumnya lebih kecil untuk masing masing set data untuk penelitian ini didapatkan ongkos yang lebih mahal karena pada penelitian sebelumnya setiap barang yang cacat diasumsikan dapat di rework semua sehingga tidak ada komponen biaya untuk produk reject seperti biaya inspeksi sensus dan simpan yang terbagi menjadi 3 yaitu reject, rework dan baik.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan dari proses penelitian dan hasil pengembangan model yang dilakukan, adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan dua inspeksi, yaitu inspeksi sampling dan inspeksi sensus. Inspeksi sampling dapat menghasilkan keputusan lot produksi diterima atau lot produksi ditolak. Inspeksi sensus dapat dilakukan hanya jika keputusan diinspeksi sampling menyatakan lot produksi ditolak. Inspeksi sensus dapat menghasilkan keputusan baik dan atau cacat. Produk yang dinyatakan cacat dari hasil inspeksi sensus, dilakukan proses *rework* untuk membuatnya menjadi produk baik.
2. Pengujian dilakukan sebanyak tiga set data, antara lain set data 1 memiliki kondisi demand (D) lebih besar dari ($>$) kapasitas produksi (K), set data 2 memiliki kondisi demand (D) sama dengan ($=$) kapasitas produksi (K), set data 3 memiliki kondisi demand (D) lebih kecil dari ($<$) kapasitas produksi (K), dan set data 4 untuk mengetahui sensitivitas untuk kondisi yang sama seperti set data 1 dengan cara mengubah beberapa nilai parameter ongkos.

REFERENSI

Ben-Daya, M. & Rahim. (2003). Optimal Lot-sizing, Quality Improvement and Inspection Errors for Multistage Production System. *International Journal of Production Research*. Vol. 41. p.65-79.

Indrapriyatna et al. (2008). *Model Penjadwalan Batch Pada Satu Mesin yang Mengalami Deteriorasi Untuk Minimasi Total Biaya Simpan dan Biaya Kualitas*. Jurnal Online, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Petra.

Irawan, Dicky. (2013). *Model Optimisasi Ukuran Lot Produksi Pada Sistem Produksi yang Mengalami Deteriorasi Dengan Kriteria Minimisasi Total Ongkos*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri. ITENAS. Bandung.

Kadarisman, Astri Martiarini. (2007). *Model Optimisasi Ukuran Lot Produksi Pada Sistem Produksi Yang Tidak Sempurna Dengan Kriteria Minimisasi Total Ongkos*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri. ITENAS. Bandung.

Perdana, Adelia Septy. (2008). *Model Optimisasi Ukuran Lot Produksi Yang Mempertimbangkan Inspeksi Sampling Dengan Kriteria Minimisasi Total Ongkos*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri. ITENAS. Bandung.

Tersine, Richard J. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management*, 4th Edition, Prentice Hall International Inc. New Jersey. p. 3-15 and 90-136.