

Model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) dengan Perbaikan Proses Produksi dan Proses *Burn-In**

RIZAL WAHYU FADLILAH, HENDRO PRASSETIYO, FIFI HERNI MUSTOFA

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: rizalfwahyu@yahoo.com

ABSTRAK

Proses produksi bila dipakai secara seterus-menerus akan mengalami penurunan kinerja atau deteriorasi, sehingga dengan adanya penurunan kinerja tersebut proses produksi akan mengalami perubahan status mesin. Perubahan status yang terjadi yaitu dari kondisi in-control menjadi out-of-control. Pada kondisi in-control probabilitas sistem menghasilkan conforming item lebih besar dibandingkan dengan non-conforming item, tetapi berbeda dengan kondisi out-of-control probabilitas non-conforming item lebih besar dibandingkan dengan conforming item. Apabila jumlah non-conforming item yang terlalu besar, tentunya biaya produksi akan meningkat dan mempengaruhi ekspektasi total biaya per produk. Quantity yang dihasilkan tidak optimum, dikarenakan terlalu banyak dihasilkannya non-conforming item pada sistem. Untuk mengatasi permasalahan penurunan kinerja pada proses produksi diperlukan perbaikan pada sistem produksi, yaitu perbaikan proses produksi dengan penambahan biaya investasi dan proses burn-in.

Kata kunci: *deteriorasi, in-control, out-of-control, perbaikan proses produksi, burn-in.*

ABSTRACT

The production process is onwards when used consistently will experience performance degradation or deterioration, so that with a decrease in the performance of the production process will change the status of the machine. Change conditions that occur are from in-control condition to out-of-control. In the in-control condition, probability of the system generating conforming items greater than non-conforming items, whereas the out-of-control probability of non-conforming items larger than the conforming items. If the number of non-conforming items that are too big, certainly will increase production costs and affect the total expected cost per product. Quantity produced is not optimal, because it generates too many non-conforming items in the system. To overcome the problem of performance degradation on the production process improvements to the production system, the improvement of the production process with the addition of the investment cost and the burn-in.

Keywords: *deterioration, in-control, out-of-control, improvement of the production process, burn-in.*

* 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

Proses produksi secara terus menerus akan mengalami penurunan kinerja, salah satu faktor yang mempengaruhinya adalah umur mesin yang digunakan dalam kegiatan produksi. Penurunan kinerja tersebut akan menyebabkan terdapatnya perubahan status sistem pada kegiatan produksi, yaitu perubahan kondisi mesin dari status *in control* menjadi *out of control*.

Menurut Riski (2005) proses produksi akan mengalami deteriorasi (penurunan kinerja) dalam jangka waktu tertentu, dan untuk mencegah sistem yang mengalami *deteriorasi* diperlukan tindakan perbaikan proses produksi. Salah satu perbaikan proses produksi yang dapat dilakukan yaitu dengan menanamkan investasi teknologi pada sistem yang mengalami penurunan kinerja. Bentuk dari investasi teknologi tersebut seperti memperbaharui mesin yang digunakan pada saat kegiatan produksi atau melakukan penggantian *spare part*.

Menurut Astuti (2002) untuk menanggulangi dihasilkannya *non-conforming item*, bukan hanya dengan melakukan perbaikan proses produksi saja, tetapi perlu adanya perbaikan kualitas produk yang dihasilkan. Untuk mendapatkan kualitas produk yang baik diperlukan proses tambahan dalam sistem, yaitu proses pengujian produk sebelum dijual (*burn-in*). Pengujian produk sebelum dijual sangat perlu diperhatikan, karena *non-conforming item* akan menimbulkan biaya-biaya yang mempengaruhi ekspektasi total biaya per produk.

Penambahan investasi teknologi dibutuhkan untuk membantu kelancaran proses produksi. Penambahan investasi teknologi dapat berupa perbaikan alat ataupun pergantian alat dengan yang baru. Penambahan biaya garansi merupakan suatu jaminan yang diberikan kepada konsumen jika terdapat ketidaksesuaian fungsi produk. Biaya garansi sangat mempengaruhi biaya proses produksi. Semakin banyak klaim dari konsumen semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu untuk menekan terjadinya klaim yang berlebihan, diperlukan proses pengujian produk (*burn-in*) sebelum dikirim kepada konsumen.

Perbaikan proses produksi dan proses *burn-in* dilakukan untuk meningkatkan probabilitas status *conforming item* dan menekan dihasilkannya *non-conforming item*. Penelitian ini akan membahas mengenai sistem yang mengalami penurunan kinerja pada proses produksi yang mengakibatkan terjadinya perubahan status sistem mesin dari *in control* menjadi *out of control*. Produk yang dihasilkan pada sistem proses produksi ini merupakan produk yang bersifat *repairable* (produk yang dapat diperbaiki).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan panjang waktu produksi (t) dan waktu *burn-in* (T) untuk menentukan *quantity* yang optimum berdasarkan minimasi kriteria ekspektasi total biaya per produk. Kedua metode ini dilakukan secara bersamaan dan diharapkan akan menekan timbulnya *non-conforming item* serta meminimasi ekspektasi total biaya produksi per produk yang terlalu besar.

Studi literatur yang digunakan dalam pengembangan model yaitu model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) yang digunakan untuk menentukan ukuran *lot* produksi optimal. Model EMQ merupakan pengembangan dari model *economic order quantity* dengan asumsi bahwa seluruh lot datang secara bersamaan yang kemudian diakumulasikan secara bertahap dengan laju tertentu (Tersine, 1994). Setiap produk memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda, dan perbedaannya dapat terlihat dari bentuk distribusi setiap kerusakan. Distribusi mengenai karakteristik kerusakan yaitu distribusi weibull, eksponensial, gamma, dan normal (Ebellling, 1997). Pemakaian distribusi bergantung dari parameter skala dan parameter bentuk karakteristik kerusakan produk tersebut. Laju kerusakan dibagi menjadi

dua, yaitu laju kerusakan *conforming item* dan *non-conforming item*. Besar kecilnya laju kerusakan suatu produk akan mempengaruhi biaya produksi. Semakin besar produk cacat yang dihasilkan maka semakin besar biaya yang dikeluarkan. Oleh karena itu diperlukan biaya garansi untuk menjamin produk yang akan dijual (Blischke dan Murthy, 1994). Proses *burn-in* diberikan pada sistem untuk meminimasi dihasilkannya *non-conforming item*, proses *burn-in* ini merupakan proses pengujian produk sebelum dikirim kepada konsumen (San dan Huei, 2005). Pengembangan model merujuk pada penelitian sebelumnya yaitu Astuti (2002) dan Riski (2005) mengenai pengembangan model *economic manufacturing quantity*.

2. METODOLOGI

Pendekatan spesifik yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengembangkan model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya yaitu Astuti (2002) dan Riski (2005). Penelitian yang dilakukan Astuti (2002) yaitu model EMQ dengan proses *burn-in*, sedangkan penelitian yang dilakukan Riski (2005) merupakan model EMQ dengan perbaikan proses produksi. Pengembangan model yang dilakukan yaitu menggabungkan kedua penelitian tersebut menjadi model EMQ dengan proses *burn-in* dan perbaikan proses produksi.

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian tetap berdasarkan penelitian sebelumnya, baik nilai parameter maupun persamaan model EMQ. Biaya-biaya yang membentuk model yaitu biaya manufaktur, biaya investasi, biaya garansi dan biaya *burn-in*.

Pengembangan Model

Pengembangan model yang dilakukan terdapat perubahan pada persamaan biaya investasi. Pada penelitian sebelumnya parameter keputusannya adalah panjang waktu produksi (t) dan laju kerusakan (a_1). Untuk penelitian yang dilakukan, parameter keputusannya berubah menjadi panjang waktu produksi (t) dan waktu *burn-in* (T).

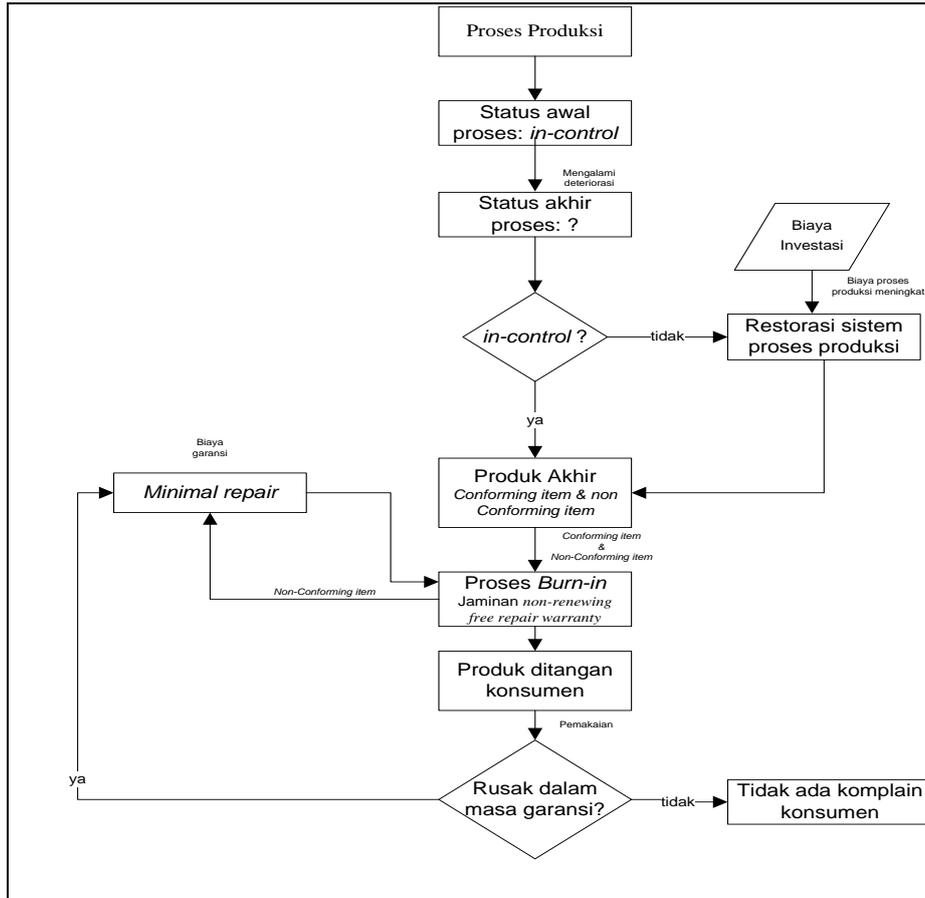
Pengujian Model

Pengujian model penelitian dilakukan secara optimasi dan untuk mengidentifikasi kesesuaian model dilakukan kondisi perlu dan kondisi cukup. Kondisi perlu merupakan kondisi untuk penentuan nilai yang paling optimum dari variabel keputusan yaitu panjang waktu produksi dan waktu *burn-in*, dengan melakukan turunan parsial pertama pada model persamaan. Kondisi cukup merupakan kondisi untuk mengetahui apakah model tetap dalam kondisi yang optimal atau tidak ketika model persamaan dilakukan turunan parsial kedua.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan melakukan perubahan nilai parameter, kemudian melihat perilaku dari model apakah model menghasilkan nilai yang optimum atau tidak. Apabila model menghasilkan ekspektasi total biaya per produk lebih minimum dari penelitian sebelumnya, berarti model tersebut sudah sesuai. Analisis sensitivitas dilakukan bukan hanya pada satu parameter tetapi kepada beberapa parameter. Hal ini untuk membuktikan bahwa model sensitif terhadap perubahan-perubahan parameter yang dilakukan.

Rancangan proses pengembangan model untuk setiap faktor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Antar Faktor

2.2 Pengembangan Model

Ukuran performasi pengembangan model penelitian adalah:

$C(t, T)$: Ekspektasi total biaya per produk (Rupiah /unit)

Variabel keputusan yang digunakan dalam pengembangan model adalah:

t : Panjang waktu produksi (hari)

T : Waktu *burn-in* (hari)

Formulasi untuk pengembangan model EMQ dengan perbaikan proses produksi dan proses *burn-in*, adalah dengan menghitung ekspektasi total biaya per produk dibentuk dari empat fungsi biaya yaitu:

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{total biaya} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya manufaktur} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya investasi} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya burn-in} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya garansi} \\ \text{per produk} \end{bmatrix}$$

$$C(t, T) = M(t, T) + I(t, T) + \psi(t, T) + G(t, T) \quad (1)$$

Penjelasan mengenai persamaan ekspektasi total biaya per produk dapat dijabarkan pada persamaan (2), (6), (9), dan (13).

2.2.1 Ekspektasi Biaya Manufaktur Per produk

Ekspektasi biaya manufaktur per produk dibentuk dari empat biaya, yaitu:

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya} \\ \text{manufaktur} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya} \\ \text{produksi} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya} \\ \text{simpan} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya} \\ \text{setup} \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya} \\ \text{restorasi} \\ \text{per produk} \end{bmatrix}$$

$$M(t, T) = cm + H(t, T) + S(t) + R(t) \quad (2)$$

Ekspektasi biaya manufaktur per produk dijabarkan pada point-point berikut:

a. Ekspektasi biaya produksi per produk

Ekspektasi biaya produksi per produk merupakan biaya yang diperlukan untuk memproduksi satu satuan/unit. Besarnya ekspektasi biaya produksi per produk berbanding lurus dengan jumlah produksi yang dihasilkan.

b. Ekspektasi biaya simpan per produk

Ekspektasi biaya simpan per produk merupakan biaya yang dikeluarkan dalam penyimpanan produk. Persamaan ekspektasi biaya simpan per produk dapat dilihat pada persamaan (3).

$$\left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya simpan per item} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Jumlah item} \\ \text{yang diproduksi} \\ \text{per siklus} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Jumlah} \\ \text{permintaan} \\ \text{per siklus} \end{array} \right] / 2 \times \left[\begin{array}{l} \text{Biaya penanganan inventory} \\ \text{per item per satuan waktu} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{Laju permintaan} \\ \text{per siklus} \end{array} \right]$$

$$H(t, T) = \frac{(pt) - [(d(t+T))]h}{2d} \tag{3}$$

c. Ekspektasi biaya setup per produk

Ekspektasi biaya setup per produk merupakan biaya yang berkaitan langsung dengan setup sistem. Setup dilakukan pada awal produksi, yaitu saat akan memproduksi sejumlah lot. Persamaan ekspektasi biaya setup per produk dapat dilihat pada persamaan (4).

$$\left[\begin{array}{l} \text{Biaya setup} \\ \text{per produk} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{Biaya setup per sekali setup} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah produk yang diproduksi per siklus} \end{array} \right]}$$

$$S(t) = \frac{k}{pt} \tag{4}$$

d. Ekspektasi biaya restorasi per produk

Biaya restorasi digunakan jika sistem berada pada status *out-of-control* pada kondisi akhir, sehingga dengan adanya biaya restorasi sistem dapat kembali kepada status *in-control*. Penjabaran mengenai ekspektasi biaya restorasi per produk dapat dilihat pada persamaan (5).

$$\left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi biaya} \\ \text{restorasi per produk} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{biaya restorasi} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{Probabilitas sistem bergeser} \\ \text{ke status out-of-control} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah komponen} \\ \text{yang diproduksi per siklus} \end{array} \right]}$$

$$R(t) = \frac{r(1-e^{-\lambda t})}{pt} \tag{5}$$

2.2.2 Ekspektasi Biaya Investasi Per produk

Ekspektasi biaya investasi diberikan untuk memperbaiki sistem agar sistem tetap berada pada status *in-control* dan menekan *non-conforming item*.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi} \\ \text{Biaya Investasi} \\ \text{per produk} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{Biaya setup} \\ \text{Perbaikan} \\ \text{Proses Produksi} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah Produk yang} \\ \text{Diproduksi} \\ \text{Selama Satu Tahun} \end{array} \right]} + \frac{\left[\begin{array}{l} \text{Biaya Investasi} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah minimal repair} \\ \text{selama burn-in} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Jumlah Produk yang} \\ \text{Diproduksi Selama Satu Tahun} \end{array} \right]}$$

$$I(t, T) = \left[\begin{array}{l} \frac{c_o}{p.A} + \frac{c_i}{\left(\left(1 - q(t, T) \int_0^T h_1(\tau) d\tau \right) + \left(q(t, T) \int_0^T h_2(\tau) d\tau \right) \right) \cdot p.A} \end{array} \right] \tag{6}$$

2.2.3 Ekspektasi Biaya *Burn-in* Per produk

Ekspektasi biaya *burn-in* digunakan untuk proses pengujian produk sebelum dijual kepada konsumen. Berikut ini merupakan penjabaran ekspektasi biaya *burn-in* per produk.

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya } burn-in \\ \text{per produk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya operasi} \\ \text{burn-in per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi biaya} \\ \text{minimal repair selama } burn-in \end{bmatrix}$$

Ekspektasi biaya operasi *burn-in* per produk, dijabarkan kembali pada persamaan 7.

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya operasi } burn-in \\ \text{per produk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{biaya tetap} \\ \text{setup } burn-in \\ \text{per produk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi biaya} \\ \text{variabel } burn-in \\ \text{per item per satuan} \\ \text{waktu} \end{bmatrix} \times (\text{Waktu } burn-in)$$

$$= c_1 + c_2 \cdot T \quad (7)$$

c_1 : Biaya tetap untuk *burn-in* per produk

c_2 : Biaya *burn-in* per produk per satuan waktu

Ekspektasi *minimal repair* selama *burn-in*, dijabarkan oleh persamaan 8.

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{minimal repair} \\ \text{selama } burn-in \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya minimal} \\ \text{repair per kerusakan} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Jumlah minimal repair} \\ \text{selama } burn-in \end{bmatrix}$$

$$= c_r \left(1 - q(t, T) \int_0^T h_1(\tau) d\tau \right) + \left(q(t, T) \int_0^T h_2(\tau) d\tau \right) \quad (8)$$

Ekspektasi biaya *burn in* per produk

$$\psi(t, T) = c_1 + (c_2 \cdot T) + \left[c_r \left(1 - q(t, T) \int_0^T h_1(\tau) d\tau \right) + \left(q(t, T) \int_0^T h_2(\tau) d\tau \right) \right] \quad (9)$$

2.2.4 Ekspektasi Biaya Garansi Per produk

Biaya garansi merupakan biaya tambahan yang harus dikeluarkan karena terdapatnya produk rusak atau tidak berfungsi, sehingga ekspektasi biaya *minimal repair* selama masa garansi adalah:

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{minimal repair} \\ \text{selama masa garansi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Biaya minimal} \\ \text{repair per kerusakan} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Jumlah minimal repair} \\ \text{selama masa garansi} \end{bmatrix}$$

$$= c_r \cdot \left[\left(1 - \bar{q}(t, T) \int_0^w h_1(\tau) d\tau \right) + \left(\bar{q}(t, T) \int_0^w h_2(\tau) d\tau \right) \right] \quad (10)$$

Jika c_h adalah biaya penanganan per klaim garansi, maka ekspektasi biaya penanganan klaim selama masa garansi adalah:

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{biaya penanganan klaim} \\ \text{selama masa garansi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Biaya penanganan} \\ \text{per klaim} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Jumlah minimal repair} \\ \text{selama masa garansi} \end{bmatrix}$$

$$= c_h \cdot \left[\left(1 - \bar{q}(t, T) \int_0^w h_1(\tau) d\tau \right) + \left(\bar{q}(t, T) \int_0^w h_2(\tau) d\tau \right) \right] \quad (11)$$

Sehingga Ekspektasi biaya garansi per produk adalah:

$$G(t, T) = [c_r + c_h] \left[\left(1 - \bar{q}(t, T) \int_0^w h_1(\tau) d\tau \right) + \left(\bar{q}(t, T) \int_0^w h_2(\tau) d\tau \right) \right] \quad (12)$$

2.2.5 Ekspektasi Total Biaya Per produk

Ekspektasi total biaya per produk dinyatakan oleh persamaan (13).

$$C(t, T) = M(t, T) + I(t, T) + \psi(t, T) + G(t, T)$$

$$C(t, T) = \left[c_m + \frac{(pt) - (2(t+T))}{2.d} h + \frac{k}{p.t} + \frac{r.(1 - e^{-\lambda t})}{p.t} \right] +$$

$$\left[\frac{c_i}{p.A} + \frac{c_o}{(1 - q(t, T) \int_0^T h_1(\tau) d\tau + (1 - q(t, T) \int_0^T h_2(\tau) d\tau).p.A)} \right] +$$

$$\left[c_1 + (c_2.T) + \left[c_r.(1 - q(t, T) \int_0^T h_1(\tau) d\tau) + (q(t, T) \int_0^T h_2(\tau) d\tau) \right] \right] +$$

$$\left[(c_r + c_h). \left[(1 - \bar{q}(t, T) \int_0^w h_1(\tau) d\tau) + (\bar{q}(t, T) \int_0^w h_2(\tau) d\tau) \right] \right] \quad (13)$$

3. HASIL dan PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan mengenai analisis dari model penelitian untuk mendapatkan solusi yang optimal dengan menggunakan pengujian model dan analisis sensitivitas model.

3.1 Pengujian Model

Pengujian model digunakan untuk menunjukkan solusi yang optimal dari model penelitian dan solusi yang diperoleh bersifat unik.

a. Kondisi Perlu

Pada bagian ini akan menjelaskan mengenai kondisi perlu dari model penelitian dengan cara melakukan turunan parsial pertama model *Economic Manufacturing Quantity* dengan perbaikan proses produksi dan *burn-in* terhadap panjang waktu produksi t dan waktu *burn-in* T .

b. Kondisi Cukup

Kondisi cukup dilakukan untuk mengetahui apakah model tetap dalam kondisi optimal atau tidak, kondisi cukup ini dilakukan dengan cara melakukan turunan parsial kedua terhadap t dan T dan kemudian dilakukan perhitungan determinan.

Berikut matriks untuk fungsi $C(t, T)$ adalah:

$$d^2C(t, T) = \begin{bmatrix} \frac{d^2C(t, T)}{dt^2} & \frac{d^2C(t, T)}{dt dT} \\ \frac{d^2C(t, T)}{dT dt} & \frac{d^2C(t, T)}{dT^2} \end{bmatrix}$$

Determinan matriks untuk meminimasi fungsi $C(t,T)$ adalah:

$$D = \begin{vmatrix} \frac{d^2 C(t,T)}{dt^2} & \frac{d^2 C(t,T)}{dt dT} \\ \frac{d^2 C(t,T)}{dT dt} & \frac{d^2 C(t,T)}{dT^2} \end{vmatrix} > 0$$

3.2 Contoh Data Hipotetik

Pengujian data hipotetik dilakukan untuk mengetahui sensitivitas dari model penelitian. Pengujian dilakukan dengan contoh numerik sehingga sensitivitas dari model dapat terlihat jika terjadi perubahan nilai parameter. Penentuan nilai parameter model merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Astuti (2002) dan Riski (2005), sedangkan nilai parameter lainnya disesuaikan dengan keadaan saat ini. Contoh numerik untuk model EMQ dengan adanya perbaikan proses produksi dan proses *burn-in* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Model EMQ dengan Adanya Perbaikan Proses Produksi dan Proses *Burn-in*

Notasi		Nilai	Satuan
Laju produksi	p	20	unit/hari
Laju permintaan	d	15	unit/hari
Parameter skala untuk restorasi	λ	0.003	
Masa garansi	W	360	hari
Waktu dalam satu tahun	A	360	hari
Probabilitas <i>conforming item</i>	θ_1	0.15	
Probabilitas <i>non-conforming item</i>	θ_2	0.65	
Parameter bentuk laju kerusakan <i>conforming item</i>	β_1	3	
Parameter bentuk laju kerusakan <i>non-conforming item</i>	β_2	0.5	
Parameter skala laju kerusakan <i>conforming item</i>	λ_1	0.001654	
Parameter skala laju kerusakan <i>non-conforming item</i>	λ_2	2	
Biaya tetap untuk <i>burn-in</i> per produk	c_1	5000	Rp/unit
Biaya <i>burn-in</i> per produk persatuan waktu	c_2	100,000	Rp/unit
Biaya kerusakan selama periode garansi	ch	50,000	Rp/unit
Biaya <i>minimal repair</i> setiap terjadi kerusakan	cr	50,000	Rp/unit
Biaya setup perbaikan proses produksi per sekali <i>setup</i>	$c0$	1,000,000	Rp/1 kali proses
Biaya standar pengadaan teknologi	ci	75,000,000	Rp
Biaya produksi per produk	cm	1,000,000	Rp/unit
Biaya restorasi	r	2,000,000	Rp
Biaya <i>setup</i> per sekali <i>setup</i>	k	1,000,000	Rp
Biaya simpan per produk	h	1000	Rp/unit/hari
Panjang waktu produksi	t	7.892	hari
Waktu <i>Burn-in</i>	T	0.712	hari
Ekspektasi Total Biaya Per produk	$C(t,T)$	1,330,054.95	Rp/unit
<i>Quantity</i>	Q	157.84	Unit

*Bagian tabel yang bercetak tebal merupakan *output* yang didapat.

Perbandingan contoh numerik data dari setiap model yang diteliti terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Contoh Numerik

Notasi		Model Penelitian		
		Model EMQ tanpa perbaikan proses produksi dan <i>burn-in</i>	Model EMQ dengan proses <i>burn-in</i>	Model EMQ dengan perbaikan proses produksi dan <i>burn-in</i>
Panjang Waktu Produksi	t	4.830	5.919	7.892
Waktu <i>Burn-in</i>	T	0	0.731	0.712
Ekspektasi Total Biaya Perkomponen	$C(t, T)$	1,520,354.804	1,331,534.544	1,330,054.952
<i>Quantity</i>	Q	96.6	118.38	157.84

3.3 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada salah satu nilai parameter dan nilai parameter lainnya tetap, serta untuk melihat perilaku model terhadap perubahan nilai parameter. Berikut ini merupakan skenario untuk analisis sensitivitas:

a. Skenario 1

Melihat perubahan nilai parameter laju produksi (p), dengan skala perubahan 50%, 100%, 150%, 200% sampai 400% dari nilai awal dan nilai parameter lainnya tetap. Tabel 3 memperlihatkan perubahan parameter laju produksi yang akan mempengaruhi panjang waktu produksi.

Tabel 3. Perubahan Parameter Laju Produksi (p)

p Unit/hari	t Hari	$C(t, T)$ Rp./produk
20	7.892	1,330,054.95
30	5.396	1,325,905.49
40	4.107	1,323,750.42
50	3.316	1,322,541.87
60	2.782	1,321,605.66
70	2.396	1,321,027.30
80	2.104	1,320,543.27
90	1.876	1,320,221.40
100	1.693	1,319,942.97

Berdasarkan Tabel 3 perubahan nilai parameter laju produksi akan mempengaruhi panjang waktu produksi yang di dapat, semakin besar nilai laju produksi semakin kecil panjang waktu produksi yang didapat. Nilai panjang waktu produksi menjadi kecil dikarenakan untuk meminimasi terjadinya *non-conforming item* pada sistem, karena sistem berproduksi cukup besar per harinya.

b. Skenario 2

Melihat perubahan panjang waktu produksi (t) dengan perubahan parameter c atau standar pengadaan teknologi. Tabel 4 memperlihatkan perubahan panjang waktu produksi.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dikatakan bahwa biaya standar pengadaan teknologi cukup mempengaruhi sistem dalam penentuan panjang waktu produksi. Semakin besar biaya teknologi yang diberikan kepada sistem maka semakin besar pula panjang waktu produksi

yang diperoleh, namun dengan semakin besarnya biaya investasi yang diberikan maka akan meningkat pula ekspektasi total biaya per produk.

Tabel 4. Perubahan Panjang Waktu Produksi (t)

Biaya Standar Pengadaan Teknologi (c) Rp.	Panjang waktu produksi (t) Hari
10,000,000	5.946
20,000,000	6.079
30,000,000	6.222
40,000,000	6.540
50,000,000	6.911
60,000,000	7.353
75,000,000	7.892

c. Skenario 3

Melihat perubahan nilai parameter biaya restorasi terhadap panjang waktu produksi (t) dilakukan pada $0 \leq r \leq 5,000,000$ dengan selang 1,000,000. Tabel 5 menunjukkan perbandingan $C(t, T)$ sebelum dan sesudah perbaikan proses produksi.

Tabel 5. Perbandingan $C(t, T)$ Sebelum Dan Sesudah Perbaikan Proses Produksi

No.	Biaya Restorasi Rp.	Tanpa Perbaikan Proses Produksi		Dengan Perbaikan Proses Produksi	
		$C(t, T)$ Rp./Produk	Panjang waktu produksi (t)	$C(t, T)$ Rp./Produk	Panjang waktu produksi (t)
1	0	1,330,766.273	5.881	1,329,760.263	7.889
2	1,000,000	1,331,417.529	5.893	1,329,907.905	7.890
3	2,000,000	1,331,534.544	5.919	1,330,054.952	7.892
4	3,000,000	1,331,667.506	5.932	1,330,202.594	7.893
5	4,000,000	1,331,800.544	5.945	1,330,350.235	7.894
6	5,000,000	1,331,933.656	5.958	1,330,497.877	7.895

Berdasarkan Tabel 5 model EMQ dengan perbaikan proses produksi dan *burn-in* memiliki total ongkos yang lebih kecil dibandingkan dengan model sebelumnya. Setiap perubahan biaya restorasi akan mempengaruhi hasil dari nilai panjang waktu produksi, semakin besar biaya restorasi semakin besar nilai panjang waktu produksi.

d. Skenario 4

Melihat perubahan proporsi *non-conforming item* sebelum dan sesudah adanya perbaikan proses produksi dan proses *burn-in*. Tabel 6 menunjukkan perubahan proporsi *non-conforming item*.

Berdasarkan Tabel 6, terdapat perubahan yang cukup signifikan terhadap perubahan proporsi *non-conforming item*. Sistem yang belum mengalami proses *burn-in* dan perbaikan proses memiliki proporsi *non-conforming item* yang cukup besar yaitu sebesar 0.477. Sistem yang telah mengalami proses *burn-in* dan perbaikan proses produksi memiliki proporsi *non-conforming item* yang lebih kecil.

Tabel 6. Perubahan Proporsi *Non-Conforming Item*

Notasi		Model Penelitian			Satuan
		Model EMQ tanpa perbaikan proses produksi dan <i>burn-in</i>	Model EMQ dengan proses <i>burn-in</i>	Model EMQ dengan perbaikan proses produksi dan <i>burn-in</i>	
Panjang Waktu Produksi	t	4.830	5.919	7.892	hari
Waktu <i>Burn-in</i>	T	0	0.731	0.712	hari
Proporsi <i>Non-conforming item</i>	$q(t, T)$	0.477	0.187	0.186	

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini menghasilkan model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) dengan perbaikan proses produksi dan proses *burn-in*. Model EMQ ini meminimasi ekspektasi total biaya per produk dan menentukan *quantity* yang optimum, berdasarkan variabel keputusan panjang waktu produksi (t) dan waktu *burn-in* (T).
2. Model yang dikembangkan mampu menjawab permasalahan yang berkaitan dengan penurunan kinerja dalam proses produksi (*deteriorasi*), dengan menambahkan perbaikan proses produksi dan proses *burn-in*. Parameter-parameter yang didapatkan dalam pengembangan model yaitu:
 - a. Panjang waktu produksi (t) dan waktu *burn-in* (T).
 - b. Besarnya investasi yang harus dikeluarkan untuk penentuan panjang waktu produksi yang optimal.
 - c. Ekspektasi total biaya per produk yang minimum berdasarkan panjang waktu produksi dan waktu *burn-in*.
3. Hasil yang didapatkan dalam pengembangan model EMQ ini adalah ekspektasi total biaya per produk yang mengalami perbaikan proses produksi dan proses *burn-in*. Memiliki biaya yang paling kecil dibandingkan dengan model tanpa adanya perbaikan proses produksi dan proses *burn-in*, sehingga model EMQ dengan perbaikan proses produksi dan proses *burn-in* layak untuk digunakan.
4. Model EMQ cukup sensitif terhadap perubahan-perubahan parameter yang diberikan, mulai dari perubahan parameter panjang waktu produksi, penambahan biaya investasi, perubahan biaya *burn-in* per satuan waktu, perubahan biaya restorasi dan perubahan parameter *non-conforming item*.

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya untuk menyempurnakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) dapat dilakukan kebijakan garansi yang diberikan berupa *Pro-Rata Warranty* (PRW).
2. Produk yang digunakan dalam pengembangan model tidak hanya bersifat *repairable* memungkinkan produk *unrepairable*, untuk memudahkan penerapan model lebih bersifat umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, R. (2002), Model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) Untuk Sistem Produksi yang Mengalami Penurunan Kerja Dengan Mempertimbangkan *Burn-In* Pada Produk Sebelum Dijual, Tesis S-2, Teknik Industri ITB, Bandung.

- Blischke, W. R. and Murthy D. N. P. (1994), *Warranty Cost Analysis*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Ebeling C. E. (1997), *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, McGraw-Hill Companies Inc., New York.
- Riski, (2005), Model Penentuan Panjang Produksi Dengan Mempertimbangkan Perbaikan Kualitas Proses Untuk Sistem Yang Mengalami Deteriorasi, Tesis S-2, Teknik Industri ITB, Bandung.
- San, C. L. and Huei, S. S. (2005), *Optimal Burn-In Time To Minimize The Cost For Repairable Assembly Product Under Warranty*, International journal of Pure and Applied Mathematics, vol 22, No.3, hal 361-378.
- Tersine, R. J. (1994), *Principles of Inventory and Materials Management*, 4th Edition, Prentice Hall International Inc., New Jersey.