

PENINGKATAN KEANDALAN PRODUK MELALUI DESAIN ULANG KOMPONEN PRODUK*

Indri Prastiani, Yanti Helianty, Hendro Prasetyo
Jurusan Teknik Industri Teknologi Nasional (Iteas), Bandung

Email: prastianiindri@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mencoba mengaplikasikan model Helianty (2007) mengenai model peningkatan keandalan untuk produk yang dijual dengan garansi. Dalam model Helianty (2007) masih sebatas pada pengembangan model secara umum, untuk itu penelitian ini menggunakan produk food processor untuk diaplikasikan kedalam model tersebut. Keandalan dari produk tersebut dipengaruhi oleh keandalan komponen-komponennya, komponen yang paling berpengaruh yaitu motor dan pisau. Agar kerusakan produk dan klaim dari konsumen dapat dikurangi maka keandalan produk harus ditingkatkan, salah satu cara untuk meningkatkan keandalan komponen pembentuk produk tersebut yaitu dengan cara menentukan parameter desain yang direpresentasikan kedalam bentuk safety factor. Peningkatan keandalan dapat memberikan keuntungan yaitu penghematan ongkos garansi, akan tetapi dari peningkatan keandalan tersebut mengakibatkan peningkatan ongkos investasi dan ongkos produksi. Parameter desain yang optimal diperoleh dengan memaksimalkan penghematan total ongkos yang merupakan selisih antara penurunan ongkos garansi dengan penambahan ongkos investasi dan ongkos produksi untuk peningkatan keandalan.

Kata kunci: Garansi, Food Processor, Safety Factor, Peningkatan Keandalan.

ABSTRACT

This research attempted to apply the model of Helianty (2007) pertaining to increase of reliability for guaranteed sold product. The model of Helianty (2007) was solely developed in general, thus this research used food processor product to apply into the model. The reliability of this product was influenced by its component reliability, one of which influencing was motor and blade. To decrease the damage and claim of consumer, the reliability of this product must be increased. One of ways was by determining design parameter represented into form of safety factor. The increase of reliability could give advantage, namely economizing guarantee cost, however this reliability increase caused the increase of investment and production cost as well. The optimal design parameter was obtained by optimizing the economizing of total cost which was the difference between the decrease of guarantee cost and the increase of investment cost plus production cost to increase the reliability.

Keywords: Warranty, Food Processor, Safety Factor, Reliability improvement.

* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbing 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

Adanya garansi maka akan ada ongkos yang dikeluarkan oleh pihak produsen untuk memperbaiki produk yang rusak dalam masa garansi. Penelitian yang membahas mengenai garansi dan keandalan, telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Penelitian terbaru dilakukan oleh Helianty (2007) yang membahas mengenai penghematan ongkos garansi dengan cara *reliability improvement*. Pada model Helianty (2007) parameter desain tidak diterjemahkan kedalam sesuatu bentuk yang nyata, yaitu masih sebatas pada pengembangan model secara umum, oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pengaplikasian model kepada produk multi komponen dengan menentukan parameter desain untuk dilakukan *reliability improvement* terhadap komponen.

1.2 Identifikasi Masalah

Produk yang digunakan pada penelitian ini yaitu *food processor* yang memiliki 2 komponen utama yaitu motor dan pisau. Parameter skala diterjemahkan dalam bentuk parameter desain yaitu *safety factor* tiap komponennya. Dengan meningkatkan parameter desain setiap komponen maka kerusakan produk dapat dikurangi dan dapat memaksimalkan total ongkos penghematan produk.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan parameter desain pada komponen-komponen pembentuk produk *food processor* agar memperoleh ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi yang optimal.

Pembatas masalah dalam penelitian ini yaitu Produk yang dibahas pada penelitian ini adalah produk *food processor* yang terdiri dari 2 komponen, yaitu motor dan pisau, Komponen disusun secara seri, kebijakan garansi FWR. Asumsi yang digunakan yaitu kehilangan bukan termasuk kedalam garansi, laju kerusakan IFR, setiap kerusakan pada produk akan mengakibatkan klaim langsung, perbaikan produk *minimal repair*, lama penanganan klaim diabaikan, daya yang diteruskan oleh motor ke pisau 100%.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Garansi

Blischke dan Murthy (1994) mengemukakan beberapa definisi tentang garansi (*warranty*), yaitu:

"A warranty is the representation of the characteristic or quality of product"

"A warranty is an expression of the willingness of business to stand behind its products and services. As such it is a badge of business integrity"

Dari definisi di atas, garansi merupakan salah satu kebijakan yang ditawarkan oleh produsen dengan tujuan untuk melindungi konsumen terhadap produk yang telah dibelinya. Garansi bermanfaat baik bagi produsen maupun bagi konsumen. Dari sudut pandang konsumen, garansi memberikan informasi mengenai kualitas dan keandalan produk, juga memberikan jaminan dari kerusakan produk pada masa garansi. Sedangkan dari sudut pandang produsen, garansi memberikan manfaat untuk melindungi produsen dari klaim konsumen yang berlebihan.

2.2 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull memiliki penerapan yang lebih luas dalam mengukur umur hidup suatu sistem atau komponen. Distribusi Weibull memiliki dua parameter yaitu parameter skala α (*scale parameter*) dan parameter bentuk β (*shape parameter*). Parameter bentuk β menggambarkan karakteristik laju kerusakan sistem atau komponen. Bila $\beta < 1$, maka fungsi distribusi Weibull memiliki laju kerusakan menurun atau bersifat *Decreasing Failure Rate* (DFR). Bila $\beta = 1$, maka fungsi distribusi memiliki laju kerusakan konstan mengikuti distribusi eksponensial. Bila $\beta > 1$, maka laju kerusakan akan meningkat atau bersifat *Increasing Failure Rate* (IFR).

2.3 Formulasi Model Helianty (2007)

Formulasi ekspektasi penghematan total ongkos per produk selama masa garansidapat dinyatakan pada persamaan (1).

$$H(\alpha') = W_s(\alpha') - P_s(\alpha') - I_s(\alpha')$$

$$= \left(\sum_{i=1}^n c_{w_i} \left\{ \frac{w_i^\beta}{(\alpha_i)^\beta} - \frac{w_i^\beta}{(\alpha_i')^\beta} \right\} - \sum_{i=1}^n D_i \left[\left(\alpha_i' \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \left(\alpha_i \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right] - \sum_{i=1}^n (c_{o_i} + c_{r_i} (\alpha_i' - \alpha_i)^m) \right) \quad (1)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahap pertama yang dilakuakn pada penelitian yaitu mencari studi literatur yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Tahap kedua yaitu merumuskan masalah dengan cara menentukan produk yang akan digunakan untuk diaplikasikan ke dalam model. tahap yang ketiga yaitu menentukan tujuan penelitian yaitu menentukan parameter desain pada komponen-komponen pembentuk produk *food processor improvement* agar memperoleh ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi yang optimal. Tahap keempat yaitu mengidentifikasi karakteristik sistem yaitu menentukan parameter desain agar dapat memaksimalkan ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi. Tahap kelima yaitu aplikasi model, melakukan *reliability improvement* untuk parameter desain tiap komponen. Tahap keenam yaitu melakukan analisis terhadap model dengan melakukan beberapa skenario pada model. tahap terakhir yaitu menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

4. FORMULASI DAN APLIKASI MODEL

4.1 Karakteristik Sistem

Produk yang akan digunakan dalam aplikasi model yaitu *food processor*, dimana produk tersebut dapat diperbaiki (*repairable*) dan dijamin dengan adanya kebijakan garansi *Free Replacement Warranty* (FWR). Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan dari suatu produk yaitu dengan cara *reliability improvement*, hal ini berarti melakukan desain ulang pada parameter komponen yang dianggap berpengaruh untuk meningkatkan keandalan komponen pembentuk produk tersebut.

Pada penelitian ini untuk meningkatkan keandalan produk *food processor* dilakukan *reliability improvement* dengan cara menentukan parameter desain tiap komponen yang optimal

dengan maksimasi ongkos penghematan yang kecil. Parameter skala dapat diterjemahkan kedalam bentuk parameter desain yaitu *safety factor* (Ramakumar, 1993). Pada penelitian ini parameter skala direpresentasikan oleh *safety factor* motor dan pisau *Safety factor* untuk motor yaitu rasio antara daya motor maksimum dengan daya yang dihasilkan oleh motor. *Safety factor* untuk pisau yaitu rasio antara kecepatan putar pisau maksimum dengan kecepatan putar yang dihasilkan oleh pisau. Nilai *safety factor* harus lebih dari 1, itu artinya daya motor dan kecepatan putar pisau yang dihasilkan tidak boleh melebihi daya maksimum dan kecepatan putar pisau maksimum yang terdapat pada produk.

4.1.1 Reliability Improvement

Reliability improvement merupakan salah satu cara untuk mengurangi jumlah kerusakan produk. Melakukan *reliability improvement* terhadap komponen-komponen pembentuk akan berpengaruh terhadap keandalan produk. Untuk produk yang terdiri dari n ($n > 1$) komponen, keandalan dari suatu produk dicerminkan oleh keandalan dari komponen-komponen yang membentuknya, dalam hal ini yaitu motor dan pisau.

4.1.2 Hubungan antar Variabel

Pada penelitian ini yang menjadi indikator performansi model adalah ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi yang dipengaruhi oleh nilai ekspektasi penghematan ongkos garansi per produk, ongkos *reliability improvement*, dan ekspektasi ongkos produksi per produk akibat adanya *reliability improvement*. Variabel keputusan yang digunakan yaitu jumlah lilitan motor dan massa jenis pisau.

4.2 Notasi Yang Digunakan

Notasi yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu notasi formulasi model untuk menentukan ukuran performansi dan notasi untuk menentukan nilai parameter desain untuk setiap komponen sebelum *reliability improvement*.

4.2.1 Notasi Model Penghematan Ongkos Garansi

Notasi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

i	: Jumlah komponen dalam satu produk ($i=1,2,\dots,n$)
a_i	: <i>Safety factor</i> untuk setiap komponen sebelum <i>reliability improvement</i> (a mengambil nilai pada ruang bilangan riil positif ($a > 0$))
a'_i	: <i>Safety factor</i> untuk setiap komponen sesudah <i>reliability improvement</i> (a' mengambil nilai pada ruang bilangan riil positif ($a' > 0$))
$G(N)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen motor selama masa garansi sebelum <i>reliability improvement</i>
$G(p)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen pisau selama masa garansi sebelum <i>reliability improvement</i>
$G(N2)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen motor selama masa garansi sesudah <i>reliability improvement</i>
$G(p2)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen pisau selama masa garansi sesudah <i>reliability improvement</i>
$W(N2)$: Ekspektasi penghematan ongkos garansi komponen motor selama masa garansi (Rp/unit)
$W(p2)$: Ekspektasi penghematan ongkos garansi komponen pisau selama masa garansi (Rp/unit)
$Ws(N2; p2)$: Ekspektasi penghematan ongkos garansi per produk (Rp/unit)
$E[N(w;N)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen motor selama masa garansi sebelum <i>reliability improvement</i> (kerusakan/unit)
$E[N(w;p)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen pisau selama masa garansi sebelum <i>reliability improvement</i> (kerusakan/unit)

Model Peningkatan Reliabilitas untuk Produk *Food Processor* yang Dijual dengan Garansi

$E[N(w;N2)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen motor selama masa garansi sesudah <i>reliability improvement</i> (kerusakan/unit)
$E[N(w;\rho2)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen pisau selama masa garansi sebelum <i>reliability improvement</i> (kerusakan/unit)
$I(N2)$: Ongkos <i>reliability improvement</i> komponen motor (Rp/unit)
$I(\rho2)$: Ongkos <i>reliability improvement</i> komponen pisau (Rp/unit)
$Is(N2; \rho2)$: Ongkos <i>reliability improvement</i> per produk (Rp/unit)
$P(N2)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi komponen motor akibat adanya <i>reliability improvement</i> (Rp/unit)
$P(\rho2)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi komponen pisau akibat adanya <i>reliability improvement</i> (Rp/unit)
$Ps(N2; \rho2)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk akibat adanya <i>reliability improvement</i> (Rp/unit)
Cw_i	: Rata-rata ongkos minimal repair per kerusakan untuk komponen ke- i (Rp/kerusakan)
D_i	: Parameter fungsi ongkos produksi komponen ke- i
Co_i	: Ongkos setup <i>reliability improvement</i> komponen ke- i (Rp/unit)
Cr_i	: Ongkos <i>reliability improvement</i> untuk setiap penambahan nilai parameter desain dari komponen ke- i (Rp/unit)
m	: Parameter fungsi ongkos investasi <i>reliability improvement</i>
u	: Parameter fungsi ongkos produksi
w	: Masa garansi (Tahun)

4.2.2 Notasi dan Formulasi Matematis Parameter Desain

Menentukan nilai parameter desain yang akan dilakukan *reliability improvement* yaitu dengan menghitung nilai *safety factor* untuk kedua komponen.

1. Motor

Motor memiliki ukuran performansi yaitu daya yang dikeluarkan oleh motor itu sendiri. Parameter yang paling mempengaruhi besarnya daya yaitu jumlah lilitan kawat (Daryanto, 2005). Motor yang digunakan harus mempunyai nilai *safety factor* lebih dari 1, artinya penggunaan daya yang dikeluarkan oleh motor tidak boleh melebihi daya maksimum yang ada pada motor tersebut. Nilai *safety factor* inilah yang nantinya akan dijadikan parameter skala (Ramakumar, 1993). Formulasi Matematis dan notasi untuk menentukan nilai daya dan *safety factor* adalah:

$$a_1 = \frac{P_{max}}{P} \quad (2)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai daya (P) yang dihasilkan oleh motor tersebut adalah:

$$P = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot l \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot I^2}{60 L} \quad (3)$$

Keterangan:

P_{max}	: Daya maksimum (Watt)
P	: Daya yang dihasilkan (Watt)
a_1	: <i>Safety factor</i> (rasio antara kecepatan daya maksimum dengan daya yang dihasilkan)
μ_0	: Permelibilitas ruang hampa (Hm^{-1})
I	: Arus listrik (Ampere)
k	: Kecepatan motor (rpm)
J_m	: Jari-jari motor (m)
N	: Jumlah lilitan Kawat
l	: Panjang kawat (m)
L	: Panjang solenoida (m)
θ	: Sudut yang terbentuk antara arus dan medan magnet

2. Pisau

Pisau memiliki ukuran performansi yaitu kecepatan putar yang dihasilkan oleh pisau itu sendiri. Kecepatan putar pisau sangat dipengaruhi oleh massa jenis, semakin keras pisau, maka pisau akan semakin tajam sehingga tidak mudah aus (Astakhof, 1999). Pisau yang digunakan harus mempunyai nilai *safety factor* lebih dari 1, artinya kecepatan putar pisau tidak boleh melebihi kecepatan putar pisau maksimal yang diijinkan. Nilai *safety factor* inilah yang nantinya akan dijadikan parameter skala (Ramakumar, 1993). Formulasi matematis dan notasi untuk menentukan nilai daya dan *safety factor* adalah:

$$a_2 = \frac{n_{max}}{n} \quad (4)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai kecepatan putar motor (n) yang dihasilkan oleh pisau tersebut adalah:

$$n = \sqrt[3]{\frac{216000 \cdot P}{\rho \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \pi^3}} \quad (5)$$

Keterangan:

- n_{max} : Kecepatan putar maksimum (rpm)
- n : Kecepatan putar yang dihasilkan (rpm)
- a_2 : *Safety factor* (rasio antara kecepatan putar maksimum dengan kecepatan putar yang dihasilkan)
- P : Daya motor yang dihasilkan (Watt)
- ρ : Massa jenis (kg/m^3)
- V : Volume pisau (m^3)
- J_p : Jari-jari pisau (m)

Pada penelitian ini yang menjadi indikator performansi model yang dikembangkan adalah: $H(N2; \rho2)$: Ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi (Rp/unit)

Variabel keputusan yang digunakan :

- $N2$: Jumlah lilitan kawat pada motor (Lilitan)
- $\rho2$: Nilai Massa jenis pisau (Kg/m^3)

4.3 Formulasi Model

Pada sub bab ini dijelaskan formulasi model matematika. Pada kasus produk yang dijual dengan garansi maka masa garansi akan berakhir pada saat w . Ekspektasi penghematan total ongkos per unit yang terjadi selama periode garansi dibentuk oleh tiga fungsi ongkos. $Ws(N2; \rho2)$, $Ps(N2; \rho2)$, dan $Is(N2; \rho2)$ mempresentasikan masing-masing untuk ekspektasi penghematan ongkos garansi, ekspektasi penambahan ongkos produksi, dan ekspektasi ongkos *reliability improvement* per produk. Dengan demikian ekspektasi penghematan total ongkos diberikan oleh persamaan:

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{penghematan} \\ \text{total ongkos} \\ \text{per unit} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{penghematan} \\ \text{ongkos garansi} \\ \text{per unit} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{penambahan} \\ \text{ongkos produksi} \\ \text{per unit} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{ongkos} \\ \text{reliability} \\ \text{improvement} \\ \text{per unit} \end{bmatrix}$$

$$H(N2; \rho2) = Ws(N2; \rho2) - Ps(N2; \rho2) - Is(N2; \rho2) \quad (6)$$

4.3.1 Ekspektasi Penghematan Ongkos Garansi per unit

Ekspektasi penghematan ongkos garansi per produk selama masa garansi ditentukan oleh besarnya ekspektasi penghematan ongkos garansi dari komponen-komponen yang membentuk produk tersebut. Ekspektasi penghematan ongkos garansi per produk selama masa garansi ditunjukkan pada persamaan (6)

$$\left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi penghematan} \\ \text{ongkos garansi per unit} \\ \text{selama masa garansi} \end{array} \right] = \sum_{i=1}^n \left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi penghematan} \\ \text{ongkos garansi per komponen} \\ \text{selama masa garansi} \end{array} \right]$$

$$Ws(N2; \rho2) = W(N2) + W(\rho2)$$

$$= CW_1 \left\{ \frac{w^\beta}{\left(\frac{\mu_0 \cdot N \cdot l \cdot j_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot l^2}{60 L} \right)^\beta} - \frac{w^\beta}{(N2)^\beta} \right\} + CW_2 \left\{ \frac{w^\beta}{\left(\frac{\frac{n_{max}}{3} \cdot \frac{216000 \cdot P}{\sqrt{\rho \cdot V \cdot j_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}}{\sqrt{\rho \cdot V \cdot j_p \cdot 8 \cdot \pi^3}} \right)^\beta} - \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{3} \right)^\beta} \right\} \quad (7)$$

4.3.2 Ekspektasi Penambahan Ongkos Produksi per produk

Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk terjadi karena adanya peningkatan ongkos produksi untuk memperoleh produk dengan reliabilitas yang lebih tinggi. Ekspektasi penambahan ongkos produksi per komponen dapat dimodelkan seperti pada persamaan (8) dan (9). Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk dapat dilihat pada persamaan (10).

$$P(N2) = D_1 \left(\left(\frac{\frac{P_{max}}{\mu_0 \cdot N \cdot l \cdot j_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot l^2}}{60 L} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \left(\frac{\frac{P_{max}}{\mu_0 \cdot N \cdot l \cdot j_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot l^2}}{60 L} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right) \quad \text{dimana } u > 0 \quad (8)$$

$$P(\rho2) = D_2 \left(\left(\frac{\frac{\frac{n_{max}}{3} \cdot \frac{216000 \cdot P}{\sqrt{\rho \cdot V \cdot j_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}}{\sqrt{\rho \cdot V \cdot j_p \cdot 8 \cdot \pi^3}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \left(\frac{\frac{n_{max}}{3} \cdot \frac{216000 \cdot P}{\sqrt{\rho \cdot V \cdot j_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}}{\sqrt{\rho \cdot V \cdot j_p \cdot 8 \cdot \pi^3}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right) \quad \text{dimana } u > 0 \quad (9)$$

$$Ps(N2; \rho2) = P(N2) + P(\rho2) \quad (10)$$

4.3.3 Ongkos *Reliability Improvement*

Ongkos *reliability improvement* per komponen diperlukan untuk meningkatkan reliabilitas komponen yang dicerminkan oleh besarnya nilai parameter skala a menjadi a' . Ongkos *reliability improvement* tergantung pada besarnya ongkos *reliability improvement* komponennya. Ongkos investasi per komponen untuk melakukan *reliability improvement* dapat dilihat pada persamaan (11) dan ongkos investasi per produk dapat dilihat pada persamaan (12)

$$\begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{reliability} \\ \text{improvement} \\ \text{per komponen} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ongkos setup} \\ \text{reliability} \\ \text{improvement} \\ \text{komponen} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{ongkos investasi} \\ \text{reliability} \\ \text{improvement} \\ \text{per penambahan} \\ \text{parameter skala} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{perubahan nilai} \\ \text{parameter skala} \end{bmatrix}$$

$$I(N) = C_{01} + Cr_1 \left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0.N.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}{60.L}} - \frac{P_{max}}{\frac{\mu_0.N.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}{60.L}} \right)^m \quad \text{dimana } m > 0 \quad (11)$$

$$I(\rho_2) = C_{02} + Cr_2 \left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho^2.V.J_p.8.\pi^3}}} - \frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho.V.J_p.8.\pi^3}}} \right)^m \quad \text{dimana } m > 0 \quad (12)$$

$$I_s(\alpha'_i) = \sum_{i=1}^n I(\alpha'_i) \quad (13)$$

4.3.4 Ekspektasi Penghematan Ongkos per produk

Ekspektasi penghematan total ongkos per produk selama masa garansi dapat dinyatakan pada persamaan (14).

$$\begin{aligned} H(N_2; \rho_2) &= Ws(N_2; \rho_2) - Ps(N_2; \rho_2) - Is(N_2; \rho_2) \\ &= \left(Cw_1 \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0.N.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}{60.L}} \right)^\beta} + Cw_2 \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho^2.V.J_p.8.\mu^3}}} \right)^\beta} \right) - \left(Cw_1 \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0.N_2.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}{60.L}} \right)^\beta} + \right. \\ &\quad \left. Cw_2 \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho^2.V.J_p.8.\mu^3}}} \right)^\beta} \right) - \left(\left(D_1 \left(\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0.N_2.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}{60.L}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0.N.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}{60.L}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right) \right) + \left(D_2 \left(\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho^2.V.J_p.8.\mu^3}}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho.V.J_p.8.\mu^3}}} \Gamma \left(1 + \right. \right. \right. \right. \end{aligned}$$

$$\left(\left(\left(\left(\frac{1}{\beta} \right)^u \right) \right) \right) + \left(\left(C_{O_1} + Cr_1 \left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0 \cdot N \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot l^2}{60 \cdot L}} - \frac{P_{max}}{\frac{\mu_0 \cdot N \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot l^2}{60 \cdot L}} \right)^m \right) + \left(C_{O_2} + Cr_2 \left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{21600 \cdot P}{\rho \cdot 2 \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \mu^3}}} - \frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{21600 \cdot P}{\rho \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \mu^3}}} \right)^m \right) \right) \quad (14)$$

Analisis untuk mendapatkan solusi model dilakukan dengan pendekatan analitik yaitu pendekatan kalkulus turunan pertama dari model untuk memperoleh kondisi perlu, sehingga diperoleh nilai parameter desain (jumlah lilitan kawat pada motor dan nilai massa jenis pisau) yang optimal untuk setiap komponen.

4.4 Aplikasi Model

Pengaplikasian model terhadap *food processor* dimaksudkan untuk meningkatkan keandalan produk yang dilakukan dengan cara menentukan parameter desain komponen yang optimal yang direpresentasikan dengan banyaknya jumlah lilitan pada motor dan massa jenis dari pisau. Nilai parameter untuk motor dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan untuk pisau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Nilai Parameter Komponen 1

Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
Rata-rata ongkos minimal <i>repair</i> per kerusakan	Cw	200.000	Rp/kerusakan
Parameter fungsi ongkos produksi	D	75.000	Rp/penambahan <i>reliability</i> /unit
Ongkos <i>setup reliability improvement</i>	Co	30.000	RP/unit
Ongkos <i>reliability improvement</i> untuk setiap penambahan nilai parameter desain	Cr	50.000	RP/perubahan parameter desain/unit
Masa garansi	w	3	tahun
Parameter fungsi ongkos investasi <i>reliability improvement</i>	m	3	
Parameter fungsi ongkos produksi	u	2	
Daya maksimum motor	Pmax	500	Watt
Permeliabilitas ruang hampa	μo	4πx10 ⁻⁷	Hm ⁻¹
Arus listrik	I	2,13	Ampere
Kecepatan motor	k	1000	rpm
Jari-jari motor	Jm	0,05	m
Jumlah lilitan kawat	N	500	
Panjang kawat	l	5	m
Panjang Selenoida	L	0,03	m
Ekspektasi Kerusakan	E[N(w;N)]	2,38	Kerusakan/unit selama masa garansi

Tabel 2 Nilai Parameter Komponen 2

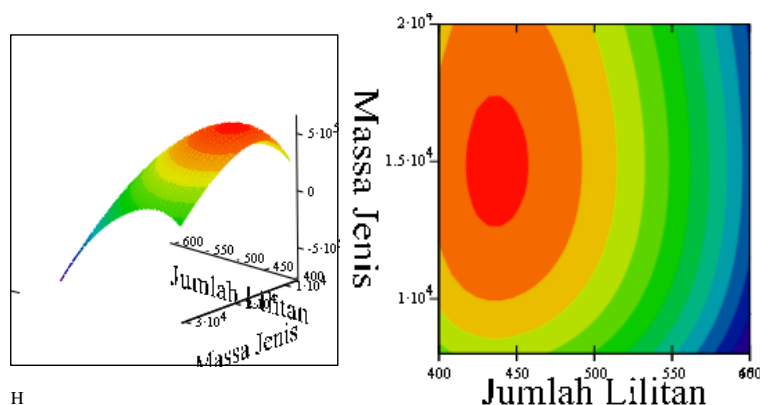
Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
Rata-rata ongkos minimal <i>repair</i> per kerusakan	Cw	600.000	Rp/kerusakan
Parameter fungsi ongkos produksi	D	200.000	Rp/penambahan <i>reliability</i> /unit
Ongkos <i>setup reliability improvement</i>	Co	100.000	Rp/unit
Ongkos <i>reliability improvement</i> untuk setiap penambahan nilai parameter desain	Cr	100.000	Rp/perubahan parameter desain/unit
Masa garansi	w	3	tahun
Parameter fungsi ongkos investasi <i>reliability improvement</i>	m	3	
Parameter fungsi ongkos produksi	u	2	
Kecepatan putar maksimal	nmax	600	rpm
Massa jenis	ρ	8000	Kg/m ³
Volume pisau	V	1,78E-05	m ³
Jari-jari pisau	Jp	0,08	m
Ekspektasi Kerusakan	E[N(w;p)]	2,12	Kerusakan/unit selama masa garansi

Berdasarkan nilai parameter yang diberikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dengan menggunakan *Software* MATCHCAD 14, diperoleh solusi optimal yang adapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan

Keterangan	Notasi	Nilai	Satuan
Jumlah lilitan setelah <i>reliability improvement</i>	$N2$	429	Lilitan
Nilai massa jenis setelah <i>reliability improvement</i>	$\rho2$	14.885,24	Kg/m ³
Ekspektasi kerusakan motor	$E[N(w;N2)]$	0,96	Kerusakan/unit selama masa garansi
Ekspektasi kerusakan pisau	$E[N(w; \rho2)]$	0,84	Kerusakan/unit selama masa garansi
Penghematan ongkos garansi	$W(N2; \rho2)$	1.052.047	Rp/Unit
Ongkos produksi	$P(N2; \rho2)$	515.217	Rp/Unit
Ongkos <i>reliability improvement</i>	$I(N2; \rho2)$	214.223	Rp/Unit
Total penghematan ongkos produk	$H(N2; \rho2) = \text{Rp } 322.607/\text{unit}$		

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh untuk variabel keputusan jumlah lilitan kawat berkurang dari 500 lilitan menjadi 429 lilitan, massa jenis 8000 Kg/m³ menjadi 14.885,24 Kg/m³ hal ini menyebabkan ekspektasi kerusakan menjadi kecil. Penurunan kerusakan tiap komponen akan meningkatkan keandalan produk dan menyebabkan ongkos penghematan produk menjadi sebesar Rp.322.607/ unit. Grafik penghematan ongkos garansi terhadap $N2$ dan $\rho2$ dapat dilihat pada Gambar 1 Perbandingan hasil antara sebelum *reliability improvement* dan sesudah *reliability improvement* dapat dilihat Tabel 4



Gambar 1 Grafik Penghematan Ongkos Garansi Terhadap $N2$ dan $\rho2$

Tabel 4 Perbandingan Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah *Reliability Improvement*

Notasi	Satuan	Sebelum <i>Reliability Improvement</i>	Sesudah <i>Reliability Improvement</i>	% kenaikan (Penurunan)
N	Lilitan	500	429	-14,20%
ρ	Kg/m ³	8000	14.885,24	86,07%
$E[N(w;N)]$	Kerusakan/unit selama masa garansi	2,38	0,96	-59,66%
$E[N(w;\rho)]$	Kerusakan/unit selama masa garansi	2,12	0,84	-60,38%
$Es[N(w;N, w;\rho)]$	Kerusakan/unit selama masa garansi	4,4	1,8	-59,09%
$W(N;\rho)$	Rp/unit	1.751.200	1.052.047	-39,92%

Dari Tabel 4 dapat dilihat motor mengalami penurunan ekspektasi jumlah kerusakan dari 2,376 menjadi 0,96 atau menurun sebesar 59,66%, sedangkan pisau mengalami penurunan ekspektasi jumlah kerusakan dari 2,13 menjadi 0,84 atau menurun sebesar 59,09%. Ekspektasi ongkos garansi setelah dilakukan *reliability improvement* mengalami penurunan dibandingkan dengan sebelum dilakukan *reliability improvement* yaitu dari Rp. 1.751.200/unit menjadi Rp.1.052.047/unit atau turun sebesar 39,92%.

Motor memberikan penghematan ongkos garansi sebesar Rp. 283.260 atau sebesar 26,925%, sedangkan pisau memberikan penghematan ongkos garansi sebesar Rp. 768.786 atau sebesar 73,075%. Hal ini disebabkan karena pisau memiliki nilai parameter ongkos perbaikan garansi yang lebih besar daripada motor. Dalam hal ini menunjukkan bahwa komponen yang memiliki ongkos garansi yang lebih besar memiliki peluang yang lebih besar untuk dilakukan peningkatan keandalan, karena akan memberikan penghematan ongkos garansi yang lebih besar. Pengaplikasian model tersebut memperlihatkan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk menentukan parameter desain yang optimal untuk setiap komponen dan dapat menurunkan ongkos garansi selama masa garansi.

5. ANALISIS PERILAKU MODEL

Pada bab ini akan dilakukan analisis perubahan nilai parameter pada model yaitu merubah parameter ongkos, Berikut beberapa skenario yang akan dilakukan pada model:

1. Menganalisis perubahan variabel keputusan $N2$ dan $\rho2$ serta ekspektasi penghematan ongkos per unit selama masa garansi untuk berbagai nilai Cw (ongkos minimal *repair*) yang bertambah sebesar 10%, 25%, 50% dari ongkos awal.
2. Menganalisis perubahan variabel keputusan $N2$ dan $\rho2$ serta ekspektasi penghematan ongkos per unit selama masa garansi untuk berbagai nilai D (ongkos produksi) yang bertambah sebesar 10%, 25%, 50% dari ongkos awal.
3. Menganalisis perubahan variabel keputusan $N2$ dan $\rho2$ serta ekspektasi penghematan ongkos per unit selama masa garansi untuk berbagai nilai Cr (ongkos *reliability improvement*) yang bertambah sebesar 10%, 25%, 50% dari ongkos awal.

5.1 Perubahan Nilai Ongkos Minimal *Repair*

Perubahan ongkos perbaikan per kerusakan pada motor (Cw_1) secara signifikan berpengaruh terhadap variabel keputusan $N2$ dan ekspektasi penghematan ongkos per unit selama masa garansi. Hal ini dibuktikan dengan kenaikan Cw_1 sebesar 50% menyebabkan penurunan nilai parameter keputusan $N2$ sampai dengan 2,098%, kenaikan penghematan ongkos total sampai dengan 34,78%, dan penurunan ekspektasi kerusakan produk sampai dengan 6,67%. Demikian juga dengan kenaikan nilai Cw_2 sampai dengan 50% menyebabkan nilai parameter $\rho2$ naik sampai dengan 13,859%, kenaikan penghematan ongkos garansi sampai dengan 124,41%, dan penurunan ekspektasi kerusakan produk sampai dengan 5,56%.

5.2 Perubahan Nilai Ongkos Produksi

Perubahan ongkos produksi pada motor (D_1) berpengaruh terhadap variabel keputusan $N2$ dan ekspektasi penghematan ongkos per unit selama masa garansi. Hal ini dibuktikan dengan kenaikan D_1 sebesar 50% menyebabkan peningkatan nilai parameter keputusan $N2$ sampai dengan 1,87%, penurunan penghematan ongkos total sampai dengan 53,05%, dan peningkatan ekspektasi kerusakan produk sampai dengan 3,89%. Demikian juga dengan kenaikan nilai D_2 sampai dengan 50% menyebabkan nilai parameter $\rho2$ turun sampai dengan 8,12%, penurunan penghematan ongkos garansi sampai dengan 15,7%, dan peningkatan ekspektasi kerusakan produk sampai dengan 4,44%.

5.3 Perubahan Nilai *Reliability Improvement*

Perubahan ongkos *reliability improvement* motor (Cr_1) berpengaruh terhadap variabel keputusan N_2 dan ekspektasi penghematan ongkos per unit selama masa garansi. Hal ini dibuktikan dengan kenaikan Cr_1 sebesar 50% menyebabkan peningkatan nilai parameter keputusan N_2 sampai dengan 1,17%, penurunan penghematan ongkos total sampai dengan 8,35%, dan peningkatan ekspektasi kerusakan produk sampai dengan 3,33%. Demikian juga dengan kenaikan nilai Cr_2 sampai dengan 50% menyebabkan nilai parameter ρ_2 turun sampai dengan 6,27%, penurunan penghematan ongkos garansi sampai dengan 8,15%, dan peningkatan ekspektasi kerusakan produk sampai dengan 3,33%.

6. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan penelitian ini yaitu hasil yang diperoleh berdasarkan pengaplikasian model menunjukkan bahwa dengan dilakukannya *reliability improvement* dapat menurunkan ekspektasi jumlah kerusakan dalam masa garansi, sehingga penghematan ongkos total produk dalam masa garansi menjadi lebih besar. Berdasarkan analisis perilaku model maka dapat disimpulkan dengan menaikkan nilai C_w akan memperbesar parameter skala dan memperbesar penghematan ongkos total sedangkan menaikkan nilai D , C_o , dan C_r akan memperkecil parameter skala dan memperkecil penghematan ongkos total.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu model kebijakan ongkos garansi dapat dilakukan untuk jenis kebijakan garansi lain, misalnya dengan *Pro-Rata Warranty (PRW)*, model diaplikasikan kepada produk dengan mempertimbangkan ongkos investasi sebagai pembatas ongkos, model diaplikasikan pada produk dengan komponen yang disusun secara paralel.

REFERENSI

Astakhof. 1999. "*Metal Cutting Mechanics. 1st Ed*". CRC Press. New York.

Blischke, W. R. dan Murthy D. N. P., (1994), *Warranty Cost Analysis*, Marcel Dekker Inc., New York

Daryanto. 2005. Teknik reparasi dan perawatan sepeda motor. Jakarta : bumi aksara.

Helianty, Y dan Iskandar, B.P (2007), Model Peningkatan Reliabilitas Produk Untuk Produk Yang Dijual Dengan Garansi, Tesis S-2, Teknik Industri ITB, Bandung.

Prassetiyo, H (2006), Optimisasi Parameter Desain Untuk Produk Yang Dijual Dengan Garansi Dua Dimensi, Tesis S-2, Teknik Industri ITB, Bandung.

Ramakumar, R (1993), *Engineering Reliability: Fundamental and Applications*, A Simon & Schuster Company Englewood Cliffs, New Jersey.