

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

YANTI HELIANTY, INDRI PRASTIANI, HENDRO PRASSETIYO

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: yanti@itenas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mencoba mengaplikasikan model peningkatan reliabilitas untuk produk yang dijual dengan garansi yang telah dikembangkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Beberapa model yang telah dikembangkan masih ada yang sebatas pada pengembangan model secara teoritis dan umum. Untuk itu dalam penelitian ini dikembangkan model dengan menggunakan produk nyata sebagai objek studi. Keandalan dari produk tersebut dipengaruhi oleh keandalan komponen-komponennya. 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 menentukan parameter desain produk. Peningkatan reliabilitas dapat memberikan keuntungan yaitu penghematan ongkos garansi, akan tetapi peningkatan reliabilitas 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 reliabilitas.

ABSTRACT

This research attempted to apply the model pertaining to reliability improvement for guaranteed sold product that has been developed in previous studies. Some of the models were still theoretical and general. Hence in this research we developed a model which used real product as object of the study. The reliability of this product was influenced by its component reliability. To decrease the damage and claim of consumer, the reliability of this product must be increased. One of ways to improve reliability is by determining design parameter. The reliability improvement could give advantage, through minimize guarantee cost, but however this reliability improvement caused the increase of investment and production cost as well. The optimal design parameter was obtained by optimizing the 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.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan zaman dan didorong oleh kebutuhan, maka telah banyak dikembangkan alat-alat elektronik yang berteknologi tinggi. Oleh karena itu, tidak heran jika di pasaran banyak produk dengan berbagai merk yang ditawarkan kepada konsumen dan dijual dengan garansi. Garansi merupakan salah satu instrumen yang diberikan oleh produsen dengan tujuan untuk melindungi konsumen terhadap produk yang telah dibelinya. Di sisi lain, garansi juga bermanfaat baik bagi produsen, yaitu melindungi dari klaim yang tidak rasional dari konsumen, dan garansi juga memberikan informasi mengenai kualitas dan keandalan produk. Semakin lama masa garansi yang diberikan menunjukkan produk tersebut semakin handal sehingga garansi dapat digunakan sebagai alat promosi yang efektif.

Garansi merupakan kesepakatan kontraktual antara produsen dan konsumen berkaitan dengan penjualan produk. Dalam kesepakatan ini produsen menjamin perbaikan (rektifikasi) terhadap produk yang mengalami kegagalan dalam periode garansi. Perbaikan yang dilakukan dengan *minimal repair* yaitu memperbaiki produk yang rusak sehingga kembali kepada kondisi saat sebelum rusak. Adanya garansi maka akan ada ongkos yang dikeluarkan oleh pihak produsen untuk memperbaiki produk yang rusak dalam masa garansi. Semakin banyak produk yang rusak dalam masa garansi, maka akan semakin besar ongkos perbaikan yang harus dikeluarkan oleh produsen.

Penelitian yang membahas mengenai garansi dan keandalan dengan tujuan untuk meminimisasi ongkos garansi, telah banyak dilakukan. Penelitian yang dikembang dalam [3] membahas mengenai penghematan ongkos garansi melalui peningkatan keandalan produk (*reliability improvement*). Untuk meningkatkan keandalan suatu produk diperlukan investasi dan untuk meningkatkan keandalan produk juga diperlukan biaya produksi tambahan. Sehingga dalam penelitian ini kriteria yang digunakan adalah maksimasi selisih antara penghematan ongkos garansi yang ditimbulkan akibat peningkatan keandalan dengan penambahan ongkos produksi dan ongkos investasi *reliability improvement*.

Peningkatan keandalan dilakukan dengan cara menentukan parameter desain pada tahap desain produk. *Reliability improvement* dilakukan pada komponen-komponen pembentuk produk, dimana komponen-komponen tersebut disusun secara seri satu dengan yang lainnya. Model ini mempertimbangkan laju kerusakan komponen yang bersifat menaik. Laju kerusakan komponen yang menaik diakibatkan karena intensitas pemakaian produk.

Model yang dikembangkan tersebut masih sebatas pada pengembangan model secara teoritis dan umum, dalam artian dapat diaplikasikan dalam produk apapun. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pengaplikasian model ke dalam produk nyata yaitu produk berupa *food processor* dengan menentukan parameter desain untuk dilakukan *reliability improvement* terhadap komponen-komponennya, guna menghemat ongkos garansi produk tersebut.

2. KARAKTERISTIK SISTEM

Produk yang digunakan sebagai objek dalam penelitian ini yaitu *food processor* dengan 2 komponen pembentuknya yaitu motor dan pisau. Produk ini adalah produk yang dapat diperbaiki (*repairable*) yang dijamin dengan *Free Replacement Warranty* (FRW), yaitu produk diperbaiki secara gratis jika terjadi kerusakan selama periode garansi.

Food processor adalah produk yang mempunyai sifat kerusakan yang menaik seiring dengan intensitas pemakaian produk oleh konsumen. Kerusakan dalam masa garansi akan mengakibatkan ongkos garansi yang dikeluarkan oleh produsen semakin meningkat. Agar produk tidak cepat mengalami

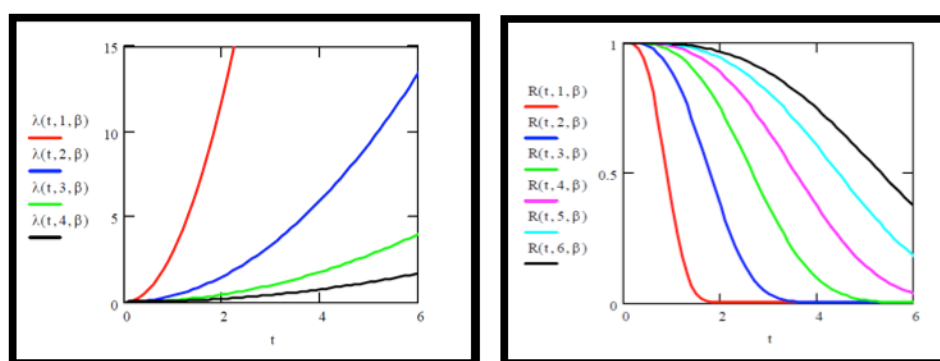
kerusakan maka produk harus memiliki keandalan yang baik. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan produk yaitu dengan melakukan *reliability improvement* pada tiap komponen pembentuknya, pada kasus ini yaitu motor dan pisau. *Reliability improvement* pada penelitian ini dilakukan pada tahap desain produk. Desain ulang produk dengan menentukan parameter desain yang optimal dapat mengurangi ekspektasi kerusakan komponen-komponen pembentuk produk.

Parameter desain untuk motor diterjemahkan dalam bentuk α_1 yaitu *safety factor* motor. *Safety factor* motor adalah rasio antara daya motor maksimum dengan daya motor yang dikeluarkan. *Safety factor* harus bernilai lebih dari 1, itu artinya daya yang dikeluarkan tidak boleh melebihi daya maksimum motor. Semakin kecil nilai *safety factor* motor maka produk akan cepat mengalami kerusakan. Parameter desain untuk pisau diterjemahkan dalam bentuk α_2 yaitu *safety factor* pisau. *Safety factor* pisau adalah rasio antara kecepatan putar pisau maksimum dengan kecepatan putar pisau yang dihasilkan. *Safety factor* pisau harus bernilai lebih dari 1, itu artinya kecepatan putar pisau yang dikeluarkan tidak boleh melebihi kecepatan putar pisau maksimum. Semakin kecil nilai *safety factor* maka produk akan cepat mengalami kerusakan.

Keandalan produk bergantung pada komponen-komponen pembentuk produk. Semakin besar keandalan komponen (besarnya *safety factor*) pembentuk produk, maka semakin besar pula keandalan produk. Semakin besar keandalan produk, maka semakin memperkecil tingkat kerusakan produk. Perbaikan kerusakan yang dilakukan pada sistem ini adalah *minimal repair*, yaitu memperbaiki produk yang rusak sehingga kembali kepada kondisi saat sebelum rusak.

3. PENGEMBANGAN MODEL

Pada model yang dikembangkan dalam penelitian dalam [3] yang menjadi parameter desain komponen adalah parameter skala yang dinotasikan dalam α . besarnya nilai α ini berpengaruh terhadap nilai distribusi laju kerusakan. Nilai α yang kecil menunjukkan laju kerusakan cukup tinggi, sedangkan untuk nilai parameter α yang besar menunjukkan laju kerusakan cukup rendah. Hal ini menjelaskan bahwa semakin besar nilai parameter α , akan menghambat laju kerusakan produk. Laju kerusakan produk yang rendah, yang dapat diartikan pula produk tersebut memiliki reliabilitas yang tinggi, sehingga besarnya nilai parameter α juga berpengaruh terhadap nilai fungsi reliabilitas produk. Pengaruh nilai α terhadap distribusi laju kerusakan dan fungsi reliabilitas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Perubahan Nilai α Terhadap Distribusi Laju Kerusakan ($\lambda(t)$) dan Reliabilitas ($R(t)$) dengan nilai parameter $\beta=3$

Dalam penelitian ini parameter skala didefinisikan sebagai *safety factor* dari setiap komponen yang akan diteliti, dalam hal ini adalah komponen motor dan pisau. Seperti yang telah dijelaskan

sebelumnya bahwa *safety factor* motor adalah rasio antara daya maksimum dengan daya yang dihasilkan, sehingga dapat dinyatakan dengan formulasi matematis sebagai berikut [5]:

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P} \quad (1)$$

Adapun rumusan untuk menghitung daya yang dihasilkan dalam [2] adalah:

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

dimana:

- P_{max} : Daya maksimum (Watt)
- P : Daya yang dihasilkan (Watt)
- α_1 : *Safety factor* (rasio antara kecepatan daya maksimum dengan daya yang dihasilkan)
- μ_0 : Permeabilitas 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

Motor memiliki ukuran performansi yaitu daya yang dikeluarkan oleh motor itu sendiri. Daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya arus, jari-jari motor, jumlah lilitan kawat, panjang kawat, dan panjang dari solenoida, namun yang paling berpengaruh pada besarnya daya yang dihasilkan yaitu lilitan kawat [2]. Jumlah lilitan berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Jumlah lilitan inilah yang akan menjadi variabel keputusan dalam desain ulang komponen motor, dimana jumlah lilitan ini akan mempengaruhi nilai *safety factor* yang dianalogikan sebagai parameter skala yang akan dilakukan *reliability improvement* [5].

Safety factor pisau adalah rasio antara kecepatan putar maksimum dengan kecepatan putar yang dihasilkan, yang dapat dinyatakan dengan formulasi matematis dalam [5] sebagai berikut:

$$\alpha_2 = \frac{n_{max}}{n} \quad (3)$$

Rumusan untuk menghitung kecepatan putar yang dihasilkan dalam [2] adalah:

$$n = \sqrt[3]{\frac{216000 \cdot P}{\rho \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \pi^3}} \quad (4)$$

dimana:

- n_{max} : Kecepatan putar maksimum (rpm)
- n : Kecepatan putar yang dihasilkan (rpm)
- α_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)

Pisau memiliki ukuran performansi yaitu kecepatan putar yang dihasilkan oleh pisau itu sendiri. Kecepatan putar pisau dipengaruhi oleh massa jenis, volume pisau, dan jari-jari pisau, namun yang paling berpengaruh dan memungkinkan untuk dilakukan *reliability improvement* yaitu massa jenis pisau tersebut. Massa jenis pisau mempengaruhi kekerasan pisau, semakin keras pisau, maka pisau

akan semakin tajam sehingga tidak mudah aus [1]. Massa jenis bahan pisau berbanding terbalik dengan kecepatan putar yang dihasilkan. Massa jenis bahan pisau inilah yang akan menjadi variabel keputusan dalam desain ulang pisau, dimana nilai massa jenis ini akan mempengaruhi nilai *safety factor* yang dianalogikan sebagai parameter skala [5] yang akan dilakukan *reliability improvement*.

Untuk memudahkan penyusunan model matematis diperlukan notasi-notasi. Notasi lainnya yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- $G(N; \rho)$: Ekspektasi ongkos garansi produk selama masa garansi sebelum *reliability improvement*
- $G(N2; \rho2)$: Ekspektasi ongkos garansi produk selama masa garansi setelah *reliability improvement*
- $Ws(N2; \rho2)$: Ekspektasi penghematan ongkos garansi produk selama masa garansi (Rp/unit)
- $E[N(w; N)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen motor selama masa garansi sebelum *reliability improvement* (kerusakan/unit)
- $E[N(w; \rho)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen pisau selama masa garansi sebelum *reliability improvement* (kerusakan/unit)
- $E[N(w; N2)]$: Ekspektasi jumlah krusakan komponen motor selama masa garansi sesudah *reliability improvement* (kerusakan/unit)
- $E[N(w; \rho2)]$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen pisau selama masa garansi sebelum *reliability improvement* (kerusakan/unit)
- $I(N2)$: Ongkos *reliability improvement* komponen motor (Rp/unit)
- $I(\rho2)$: Ongkos *reliability improvement* komponen pisau (Rp/unit)
- $Is(N2; \rho2)$: Ongkos *reliability improvement* per produk (Rp/unit)
- $P(N2)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi komponen motor akibat adanya *reliability improvement* (Rp/unit)
- $P(\rho2)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi komponen pisau akibat adanya *reliability improvement* (Rp/unit)
- $Ps(N2; \rho2)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk akibat adanya *reliability improvement* (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 *reliability improvement* komponen ke-i (Rp/unit)
- Cr_i : Ongkos *reliability improvement* untuk setiap penambahan nilai parameter desain dari komponen ke-i (Rp/unit)
- m : Parameter fungsi ongkos investasi *reliability improvement*
- u : Parameter fungsi ongkos produksi
- w : Masa garansi (Tahun)

Pada peneltian 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
- $\rho2$: Nilai Massa jenis pisau

4. FORMULASI MODEL

Pada kasus ini ongkos yang diperlukan untuk melakukan peningkatan reliabilitas komponen diasumsikan tersedia. Misalkan $Ws(N2; \rho2)$, $Ps(N2; \rho2)$, dan $Is(N2; \rho2)$ mempresentasikan masing-masing untuk ekspektasi penghematan ongkos garansi, ekspektasi penambahan ongkos produksi, dan

ekspektasi ongkos *reliability improvement* per produk. Maka ekspektasi penghematan total ongkos diberikan oleh persamaan:

$$H(N2; \rho2) = Ws(N2; \rho2) - Ps(N2; \rho2) - Is(N2; \rho2) \tag{5}$$

Penjelasan lebih rinci mengenai Ekspektasi penghematan ongkos garansi per produk, ekspektasi penambahan ongkos produksi, dan ongkos *reliability improvement* selama masa garansi akan diberikan berikut ini.

4.1. 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).

$$\begin{aligned}
 Ws(N2; \rho2) &= G(N; \rho) - G(N2; \rho2) \\
 Ws(N2; \rho2) &= (Cw_1 \cdot E[N(w; N)] + Cw_2 \cdot E[N(w; \rho)]) \\
 &\quad - (Cw_1 \cdot E[N(w; N2)] + Cw_2 \cdot E[N(w; \rho2)]) \\
 &= \left(Cw_1 \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu o. N. l. J_m. 2\pi. k. \sin(\theta). I^2}{60. L}} \right)^\beta} + Cw_2 \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000. P}{\rho. V. J_p. 8. \pi^3}}} \right)^\beta} \right) \\
 &\quad - \left(Cw_1 \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu o. N2. l. J_m. 2\pi. k. \sin(\theta). I^2}{60. L}} \right)^\beta} + Cw_2 \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000. P}{\rho2. V. J_p. 8. \pi^3}}} \right)^\beta} \right)
 \end{aligned}$$

$$= Cw_1 \left(\frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0 \cdot N \cdot l \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot I^2}{60 \cdot L}} \right)^\beta} + \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0 \cdot N2 \cdot l \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot I^2}{60 \cdot L}} \right)^\beta} \right) - Cw_2 \left(\frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000 \cdot P}{\rho \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}} \right)^\beta} + \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000 \cdot P}{\rho 2 \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}} \right)^\beta} \right) \quad (6)$$

4.2. 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. Besarnya ekspektasi penambahan ongkos produksi per komponen bergantung pada reliabilitas komponen [4]. Dalam [4] merumuskan model ongkos produksi sebagai berikut:

$$Cmo = D\lambda^{-u} \quad (7)$$

Dalam [4] menggunakan laju kerusakan produk berdistribusi eksponensial, sehingga dapat dinyatakan $\lambda = 1/\mu$. Sehingga bentuk persamaannya dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu

$$Cmo = D \left(\frac{1}{\mu} \right)^u \quad (8)$$

Berdasarkan model tersebut maka pada penelitian ini untuk menghitung ekspektasi penambahan ongkos produksi dapat digunakan pendekatan model diatas dengan menggunakan laju kerusakan komponen berdistribusi *weibull*. Ekspektasi penambahan ongkos produksi per komponen dapat dimodelkan seperti pada persamaan (9) dan (10). Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk dapat dilihat pada persamaan (11).

$$P(N2) = D1 \left[\left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0 \cdot N2 \cdot l \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot I^2}{60L}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \left(\frac{P_{max}}{\frac{\mu_0 \cdot N \cdot l \cdot J_m \cdot 2\pi \cdot k \cdot \sin(\theta) \cdot I^2}{60L}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right] \quad \text{dimana } u > 0 \quad (9)$$

$$P(\rho 2) = D2 \left[\left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000 \cdot P}{\rho 2 \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u - \left(\frac{n_{max}}{\sqrt[3]{\frac{216000 \cdot P}{\rho \cdot V \cdot J_p \cdot 8 \cdot \pi^3}}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right] \quad \text{dimana } u > 0 \quad (10)$$

$$Ps(N2; \rho 2) = P(N2) + P(\rho 2) \quad (11)$$

4.3. Ongkos Reliability Improvement

Ongkos *reliability improvement* per komponen diperlukan untuk meningkatkan reliabilitas komponen yang dicerminkan oleh besarnya nilai parameter skala α menjadi α' . Ongkos investasi untuk melakukan *reliability improvement* tergantung pada besarnya perubahan α menjadi α' ($\delta = \alpha' - \alpha$). Semakin besar δ maka semakin besar ongkos investasi yang harus dikeluarkan. Ongkos *reliability improvement* tergantung pada besarnya ongkos *reliability improvement* komponennya. Ongkos investasi per komponen untuk melakukan *reliability improvement* dapat dilihat pada persamaan (12) dan (13) Ongkos investasi per produk dapat dilihat pada persamaan (14)

$$I(N2) = Co1 + Cr1 \left(\frac{\frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} - \frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} \right)^m \quad \text{dimana } m > 0 \quad (12)$$

$$I(\rho2) = Co2 + Cr2 \left(\frac{\frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho2.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} - \frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} \right)^m \quad \text{dimana } m > 0 \quad (13)$$

$$I_s(N2; \rho2) = I(N2) + I(\rho2) \quad (14)$$

4.4. Ekspektasi Penghematan Ongkos per Produk

Ekspektasi penghematan total ongkos per produk selama masa garansi dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

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

$$\begin{aligned} &= \left[Cw_1 \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} \right)^\beta} + Cw_2 \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho2.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} \right)^\beta} \right] - \left[Cw_1 \frac{w^\beta}{\left(\frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} \right)^\beta} + Cw_2 \frac{w^\beta}{\left(\frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} \right)^\beta} \right] \\ &+ \left[D1 \left(\left(\frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} \right)^\beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} \right)^\beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right)^u \right] + \\ &+ \left[D2 \left(\left(\frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho2.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} \right)^\beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} \right)^\beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right)^u \right] - \\ &\left(Co1 + Cr1 \left(\frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} - \frac{P_{\max}}{\mu\omega.N.I.J_m.2\pi.k.\sin(\theta).I^2}}{60L} \right)^m \right) + \left(Co2 + Cr2 \left(\frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho2.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} - \frac{n_{\max}}{\sqrt[3]{\frac{216000.P}{\rho.V.J_p.8.\pi^3}}}}{\sqrt[3]{\rho.V.J_p.8.\pi^3}} \right)^m \right) \end{aligned} \quad (15)$$

5. APLIKASI MODEL

Pada penelitian ini untuk menunjukkan bahwa model yang dikembangkan dapat menjawab permasalahan penelitian bahwa peningkatan reliabilitas dapat meminimasi ongkos garansi, maka dilakukan pengaplikasian model dengan menggunakan nilai-nilai parameter yang telah ditentukan. Parameter desain sebelum dilakukan *reliability improvement* untuk motor yaitu dengan jumlah lilitan kawat 500 buah dan parameter $\beta = 3$ sementara untuk parameter desain pisau sebelum *reliability improvement* yaitu dengan massa jenis pisau 8000 Kg/m³ dan parameter $\beta = 3$. Nilai parameter untuk spesifikasi dari *food processor* yaitu berdasarkan data yang diambil dari spesifikasi jenis *food processor* dan untuk parameter ongkos didapat melalui survey. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter Komponen Motor dan Pisau

Simbol	Nilai untuk Komponen Motor	Nilai untuk Komponen Pisau	Satuan
Cw	200.000	600.000	Rp/kerusakan
D	75.000	200.000	Rp/penambahan <i>reliability</i> /unit
Co	30.000	100.000	Rp/unit
Cr	50.000	100.000	Rp/perubahan parameter desain/unit
E[N(w;N2)]	2,38	-	Kerusakan/unit selama masa garansi
E[N(w; p2)]	-	2,12	Kerusakan/unit selama masa garansi
w	3	3	tahun
m	3	3	
u	2	2	
Pmax	500	-	Watt
μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	-	Hm ⁻¹
I	2,13	-	Ampere
k	1000	-	rpm
Jm	0,05	-	m
N	500	-	
l	5	-	m
L	0,03	-	m
nmax	-	600	rpm
ρ	-	8000	Kg/m ³
V	-	0,0000178	m ³
Jp	-	0,08	m

Berdasarkan nilai parameter yang diberikan pada Tabel 1, dengan menggunakan *Software MATCHCAD 14*, diperoleh solusi optimal yang dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun perbandingan hasil antara sebelum *reliability improvement* dan sesudah *reliability improvement* dapat dilihat Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Perhitungan

Keterangan	Notasi	Nilai	Satuan
Jumlah lilitan setelah <i>reliability improvement</i>	N2	429	Lilitan
Nilai massa jenis setelah <i>reliability improvement</i>	ρ_2	14.885,24	Kg/m ³
Ekspektasi kerusakan motor	E[N(w;N2)]	0,96	Kerusakan/unit

Ekspektasi kerusakan pisau	$E[N(w; \rho_2)]$	0,84	Kerusakan/unit
Penghematan ongkos garansi	$W(N_2; \rho_2)$	1.052.047	Rp/Unit
Ongkos produksi	$P(N_2; \rho_2)$	515.217	Rp/Unit
Ongkos <i>reliability improvement</i>	$I(N_2; \rho_2)$	214.223	Rp/Unit
Total penghematan ongkos	$H(N_2; \rho_2) = \text{Rp } 322.607/\text{unit}$		

Tabel 3. 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	2,38	0,96	-59,66%
$E[N(w;\rho)]$	Kerusakan/unit	2,12	0,84	-60,38%
$Es[N(w;N, w;\rho)]$	Kerusakan/unit	4,40	1,80	-59,09%
$W(N;\rho)$	Rp/unit	1.751.200	1.052.047	-39,92%

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa dengan melakukan *reliability improvement* dapat menurunkan ekspektasi jumlah kerusakan motor dan pisau. Sehingga secara keseluruhan dapat menurunkan ekspektasi kerusakan produk. 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%.

Apabila diperhatikan, jumlah lilitan kawat setelah dilakukan *reliability improvement* menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan sebelumnya. Sementara dalam rumus menyatakan bahwa jumlah lilitan berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Artinya jumlah lilitan semakin banyak akan menghasilkan daya yang semakin besar. Dalam kasus ini tidak mencari daya yang dihasilkan yang besar, tetapi daya yang memberikan nilai *safety factor* yang lebih besar dari 1, dimana *safety factor* ini merupakan rasio antara daya maksimum dengan daya yang dihasilkan. Apabila daya yang dihasilkan melebihi daya maksimum akan mengakibatkan motor akan cepat rusak, sehingga ekspektasi kerusakan akan semakin besar.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut ini kesimpulan tentang pengaplikasian model ke dalam produk *food processor* yang memiliki 2 komponen:

- Hasil yang diperoleh berdasarkan pengaplikasian model menunjukkan bahwa dengan dilakukannya *reliability improvement* dapat menurunkan ekspektasi jumlah kerusakan dalam masa garansi, sehingga ongkos total produk dalam masa garansi menjadi lebih kecil.
- *Reliability improvement* motor dilakukan dengan cara mengurangi jumlah lilitan yang semula 500 lilitan menjadi 429 lilitan. Pengurangan jumlah lilitan ini dapat menurunkan ekspektasi kerusakan motor dari 2,38 kerusakan/unit menjadi 0,96 kerusakan /unit.
- *Reliability improvement* pisau dilakukan dengan cara meningkatkan massa jenis bahan pisau dari 8000 kg/m^3 menjadi 14.885 kg/m^3 . Kenaikan massa jenis ini dapat menurunkan ekspektasi kerusakan pisau dari 2,12 kerusakan/unit menjadi 0,84 kerusakan/unit.
- *Reliability improvement* pada motor dan pisau memberikan penghematan biaya garansi sebesar Rp. 322.607 per unit.

Berikut ini saran yang dapat diberikan pada penelitian selanjutnya untuk dapat menyempurnakan penelitian ini adalah:

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astakhof (1999), "*Metal Cutting Mechanics. 1st Ed*". CRC Press. New York.
- [2] Daryanto (2005), *Teknik Reparasi dan Perawatan Sepeda Motor*, Jakarta : Bumi Aksara.
- [3] Helianty, Y dan Iskandar, B.P., (2007), *Model Peningkatan Reliabilitas Produk Untuk Produk Yang Dijual Dengan Garansi*, Teknik Industri ITB, Bandung.
- [4] Liu, Zhi-Jie, Huang, Hong-Zong, Murthy, D. N. P., (2006), *Optimal Reliability and Price Choises for Product Under Warranty*, IEEE.
- [5] Ramakumar (1993), R, *Engineering Reliability: Fundamental and Applications*, A Simon & Schuster Company Englewood Cliffs, New Jersey.