

MODEL PENINGKATAN RELIABILITAS PRODUK KENDARAAN BERMOTOR YANG DIJUAL DENGAN GARANSI*

GEA WINNA DWI AYUNINGTYAS¹, HENDRO PRASSETIYO²,
RISPIANDA³,ALFAN EKAJATI⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung

⁴ Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung

Email: geawinnaa@gmail.com

ABSTRAK

Memberikan garansi pada produk yang dijual berarti akan ada ongkos tambahan yang akan dikeluarkan oleh produsen untuk memperbaiki produk yang rusak selama masa garansi. Pada penelitian ini akan dilakukan pengaplikasian model keandalan produk untuk komponen kendaraan bermotor yang dijual dengan garansi. Produk yang di pertimbangkan adalah multi komponen yang disusun seri yang diambil dari bagian Mobil Avanza yaitu axle shaft dan propelar shaft. Pengaplikasian ini akan merepresentasikan parameter desain (a) sebagai safety factor (N). Peningkatan keandalan dalam penelitian ini dapat dilakukan dengan menaikkan nilai diameter axle shaft dan propelar shaft. Dengan dilakukannya reliability improvement menyebabkan tambahan ongkos bagi produsen yaitu ongkos produksi, dan ongkos reliability improvement, yang diimbangi dengan juga dengan berkurangnya ongkos garansi. Oleh karena itu, diaplikasikanlah model keandalan untuk total dengan kriteria maksimasi ongkos total yang merupakan selisih antara ekspektasi penghematan ongkos garansi, ongkos reliability improvement, dan ongkos produksi.

Kata kunci: garansi, safety factor, reliabilty improvement.

ABSTRACT

Providing warranty on products sold means there will be additional costs that will be incurred by the manufacturer to repair the defective product during the warranty period. This research will be conducted on the application of the reliability model of component products for motor vehicles are sold with warranty. Consider the product in a multi component is in series taken from the Avanza Car parts axle shafts and shaft propelar. This application represents a design parameter (a) as a safety factor (N). Increase the reliability of this research can be done by increasing axle shaft diameter and shaft propelar. With reliability improvement does cause additional costs for manufacturers is the cost of production, and the cost of reliability improvement, which is offset by the reduced cost of the warranty as well. Therefore, the reliability of the model applied to the criteria of maximizing the total cost of the difference between the total expected warranty cost savings, reliability improvement costs, and production costs.

Keyword: Warranty, safety factor, reliabilty improvement.

* Makalah ini merupakan ringkasan 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 Latar Belakang Masalah

garansi dapat dipandang sebagai kewajiban yang berdasarkan perjanjian dan diadakan oleh produsen dalam hubungannya dengan penjualan produk. Perjanjian tersebut menentukan kualitas produk, apakah sesuai dengan yang dijanjikan atau tidak, sehingga ganti rugi harus disediakan oleh produsen bagi konsumen sebagai kompensasi atas performansi yang tidak sesuai (terjadi kerusakan) Blischke dan Murthy (1994). Pada model Helianty (2007) model diterapkan pada model multi komponen dengan rangkaian seri namun dalam model Helianty (2007) belum merepresentasikan parameter desain (a). Untuk meningkatkan kehandalan suatu produk salah satunya dengan melakukan *reliability improvement* yaitu dengan cara merepresentasikan parameter desain (a) sebagai *safety factor (N)* Ramakumar (1993). Dengan dilakukannya *reliability improvement* maka akan menaikkan ongkos *reliability improvement* dan ongkos produksi.

Produk yang dijual dengan garansi, akan menimbulkan ongkos tambahan bagi produsen, yaitu ongkos untuk memperbaiki produk selama masa garansi. Ongkos untuk memperbaiki produk dapat diminimasi salah satunya dengan meningkatkan *reliability* produk tersebut.

Peningkatan keandalan produk dipengaruhi oleh ongkos garansi, ongkos *reliability improvement* dan penambahan ongkos produksi sehingga diharapkan mengurangi ongkos total penghematan garansi dan meningkatkan keuntungan perusahaan. Oleh karena itu, pengaplikasian parameter desain (a) yang direpresentasikan sebagai *safety factor (N)* sangat membantu dalam melakukan *reliability improvement*.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Pada tugas akhir yaitu mengaplikasikan model dari penelitian sebelumnya, yaitu penelitian Helianty (2007). Pada tugas akhir ini akan dilakukan *reliability improvement* dengan merepresentasikan parameter desain (a) sebagai *safety factor (N)*. *Reliability improvement* ini dilakukan pada kendaraan bermotor yaitu *axle shaft* dan *propelar shaft* yang disusun dengan rangkaian seri yaitu jika satu komponen rusak maka akan berpengaruh terhadap komponen lain. Dengan adanya *safety factor (N)* ini diharapkan akan memaksimalkan penghematan ongkos total. Parameter desain untuk kedua komponen bermotor ini yaitu perbandingan antara kekuatan tarik bahan dan tegangan izin. Tegangan izin dipengaruhi oleh diameter poros, daya poros, faktor koreksi, beban lentur, dan putaran poros. Diameter poros merupakan variabel keputusan untuk mendapatkan penghematan ongkos total produk.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Menentukan nilai parameter desain produk multi komponen yaitu *axle shaft* dan *propelar shaft* yang dijual dengan garansi.

1.4 PEMBATASAN MASALAH DAN ASUMSI

Pembatasan untuk tugas akhir ini yaitu:

1. Produk yang dipertimbangkan adalah poros mobil yaitu *axle shaft* dan *propelar shaft*.

2. Analisis garansi dilakukan berdasarkan kebijakan *Free Replacement Warranty* (FRW).
3. Pemodelan kerusakan dilakukan dengan menggunakan pendekatan satu dimensi yang bersifat menaik (*increasing failure rate*).
4. Produk yang dipertimbangkan adalah produk multi komponen yang disusun dengan rangkaian seri.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Definisi Garansi

Kotler (1998) menyatakan Layanan purna jual adalah layanan yang diberikan perusahaan kepada seorang konsumen setelah terjadinya transaksi penjualan. Layanan purna jual ini merupakan bentuk tanggung jawab produsen dalam menjamin kualitas produk yang telah dijualnya, ketika sudah berada di tangan konsumen. Layanan purna jual merupakan suatu bentuk perlindungan bagi konsumen apabila ternyata performansi produk yang dibelinya tidak sesuai dengan yang dijanjikan oleh produsen.

2.2 Fungsi Distribusi Weibull

Distribusi ini merupakan distribusi yang paling sering digunakan untuk menganalisis data kerusakan, karena distribusi weibull dapat memenuhi beberapa periode kerusakan yang terjadi, yaitu periode awal (*early failure*), periode normal, dan periode pengausan (*wear out*).

Periode tersebut tergantung dari nilai parameter bentuk fungsi distribusi weibull. Distribusi weibull mempunyai laju kerusakan menurun untuk $\beta < 1$, laju kerusakan konstan untuk $\beta = 1$, dan laju kerusakan naik untuk $\beta > 1$.

Fungsi laju kerusakannya adalah :

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (1)$$

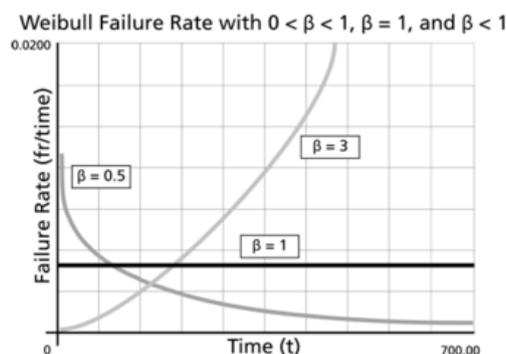
Ket:

α = parameter skala

β = parameter bentuk

r = laju kerusakan

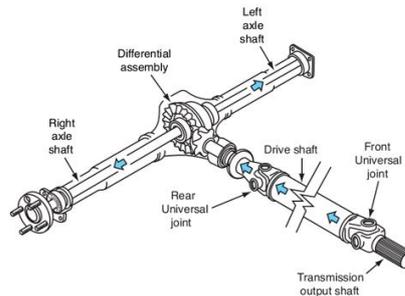
Gambar kurva fungsi laju kerusakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kurva Fungsi Laju Kerusakan

2.3 Definisi Axle Shaft Dan Propelar Shaft/Drift Shaft

Gambar Axle shaft dan propelar shaft dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Axle shaft dan propelar shaft

Axle shaft atau poros penggerak roda adalah merupakan poros pemutar roda-roda penggerak yang berfungsi meneruskan tenaga gerak dari *differential* ke roda-roda. *Propeller shaft/Drift Shaft* berfungsi untuk memindahkan atau meneruskan tenaga dari transmisi ke *difrensial*. Perhitungan yang digunakan dalam merancang dan guna untuk menganalisa kerja poros transmisi yang mengalami beban puntir murni (torsi) menurut Sularso (1978) adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung momen yang terjadi pada poros

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n} \quad (2)$$

Keterangan:

T = momen rencana (kg.mm)

P_d = daya rencana (kW)

n = Putaran yang diakibatkan oleh poros (rpm)

- b. Mencari Tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = \sigma_b / S_f \quad (3)$$

Keterangan:

τ_a = tegangan geser yang diizinkan (kg/mm²)

σ_b = Kekuatan tarik (kg/mm²)

S_f = faktor keamanan

- c. Menghitung diameter poros

$$d = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times T \right]^{1/3} \quad (4)$$

Keterangan :

K_t = faktor koreksi

C_b = beban lentur

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan referensi mengenai penjelasan data yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Studi literatur yang digunakan adalah "Model Peningkatan Reliabilitas Produk untuk Produk yang Dijual dengan Garansi".

Peningkatan yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain dilakukan oleh Helianty (2007).

3.2 Rumusan Masalah

Penelitian yang akan diteliti yaitu mengaplikasikan model untuk peningkatan keandalan suatu produk berdasarkan parameter desain (d) yang dalam dunia industri direpresentasikan sebagai *safety factor* (N). Komponen yang akan diteliti mengambil bagian dari mobil yaitu *axle shaft* dan *propelar shaft*. Pada tahap *reliability improvement* menggunakan parameter desain (d) yang dalam dunia industri direpresentasikan sebagai *safety factor* (N).

Dalam melakukan *reliability improvement* mempertimbangkan ongkos-ongkos seperti ongkos *reliability improvement*, ongkos garansi dan penambahan ongkos produksi sehingga dapat memaksimalkan total ongkos penghematan produk dan perusahaan akan mendapatkan keuntungan.

3.3 Tujuan Penelitian

Menentukan nilai parameter desain produk multi komponen yaitu *axle shaft* dan *propelar shaft* yang dijual dengan garansi.

3.4 Karakteristik Sistem

Untuk meningkatkan keandalan suatu produk salah satunya dengan *reliability improvement* adalah dengan melakukan desain ulang produk. Desain ulang produk salah satunya dengan merepresentasikan parameter desain (d) oleh *safety factor* (N).

Peran *safety factor* dalam perancangan diameter poros ini sangat penting untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya semakin *safety factor* tinggi maka produk akan semakin handal dan akan meminimumkan jumlah klaim yang diterima produsen. Penentuan *safety factor* akan berbeda, tergantung jenis kondisi pembebanan dan juga jenis bahan atau material. Perbaikan kerusakan yang dilakukan pada sistem ini adalah *minimal repair*, yaitu memperbaiki produk yang rusak sehingga kembali kepada kondisi saat sebelum rusak.

3.5 Aplikasi Model

Pengembangan model berdasarkan pada penelitian Helianty (2007) yaitu model peningkatan reliabilitas produk yang dijamin dengan garansi. Dalam model Helianty (2007) parameter desain (d) tidak direpresentasikan sehingga pada model ini akan diimplementasikan. Model peningkatan reliabilitas produk yang dijamin dengan garansi dua dimensi bertujuan untuk menentukan nilai dari diameter poros *axle shaft* dan *propelar shaft* agar aman lebih aman untuk digunakan.

Untuk implementasi model ini parameter desain (d) akan direpresentasikan yang dalam dunia industri di representasikan sebagai *safety factor* (N) sehingga jika adanya *safety factor* kedua poros akan aman dan tahan lama untuk digunakannya.

3.6 Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan hasil dari penelitian tugas akhir. Tahap ini akan menjawab permasalahan yang diteliti dan usulan untuk penelitian selanjutnya.

4. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Notasi Yang Digunakan

Untuk memudahkan penyusunan pengembangan model matematika diperlukan notasi-notasi. Notasi yang digunakan pada pengembangan model ini adalah:

- I : Jumlah komponen dalam satu produk ($i= 1,2,\dots,n$).
- $G(d_i)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen- i selama masa garansi sebelum *reliability improvement*.
- $G(d'_i)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen- i selama masa garansi setelah *reliability improvement*.
- $W(d_i)$: Ekspektasi ongkos garansi komponen- i selama masa garansi setelah *reliability improvement*.
- $W_s(d')$: Ekspektasi ongkos garansi per unit (Rp/unit).
- $E(d_i)$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen ke- i selama masa garansi. sebelum *reliability improvement*. (kerusakan/unit).
- $E(d'_i)$: Ekspektasi jumlah kerusakan komponen ke- i selama masa garansi. setelah *reliability improvement*. (kerusakan/unit).
- $I(d'_i)$: Ongkos *reliability improvement* komponen- i (Rp/unit).
- $I_s(d')$: Ongkos *reliability improvement* per produk (Rp/unit).
- $P(d'_i)$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk akibat adanya *reliability improvement* (Rp/unit).
- $Ps(d')$: Ekspektasi penambahan ongkos produksi per produk akibat adanya *reliability improvement* (Rp/unit).
- C_k : Rata-rata ongkos *minimal repair* per kerusakan untuk komponen- i (Rp/kerusakan).
- D_i : Parameter fungsi ongkos produksi komponen- i .
- C_s : Ongkos setup *reliability improvement* per kerusakan komponen- i (Rp/kerusakan).
- C_r : Ongkos *reliability improvement* untuk setiap penambahan nilai parameter desain untuk komponen- i (Rp/unit).
- m : Parameter fungsi ongkos investasi *reliability improvement*.
- u : Parameter ongkos produksi.
- ω : masa garansi.

Pada penelitian ini yang menjadi ukuran performansi pengembangan model yang digunakan adalah:

- $T(d')$: Ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi (Rp/unit).

Variabel keputusan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- d'_i : Nilai diameter dalam proses desain setelah dilakukannya *reliability improvement*.

4.2 Aplikasi Model

Dalam pengembangan model sebelumnya yaitu pengembangan model Helianty (2007), parameter desain (d) tidak direpresentasikan maka pada penelitian ini diaplikasikan model untuk peningkatan keandalan produk dimana parameter desain (d) direpresentasikan sebagai *safety factor* (N).

Dimana *Safety factor* mempunyai persamaan:

$$N = \frac{\sigma}{\tau} \quad (5)$$

Ket : σ = kekuatan tarik bahan (kg/mm^2)
 τ = tegangan yang diijinkan (kg/mm^2)

dimana tegangan yang diijinkan (τ) mempunyai persamaan:

$$\tau = \frac{5,1}{d^3} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \quad (6)$$

Ket: d = *safety factor* (mm)

K_t = faktor koreksi/kejutan

C_b = beban lentur

T = Torsi/momen rencana (kg/mm^2)

Dimana momen rencana (T) mempunyai persamaan:

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n} \quad (7)$$

Ket: P_d = Daya rencana (kW)

n = Putaran yang diakibatkan oleh poros (rpm)

sehingga jika persamaan (5) disubstitusikan pada persamaan (6) dan (7) menjadi persamaan (8) seperti dibawah ini:

$$N = \frac{\sigma}{\frac{5,1}{d^3} K_t \cdot C_b \cdot 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n}} \quad (8)$$

Pada kasus ini ongkos yang diperlukan untuk melakukan peningkatan keandalan produk yaitu $W_s(d')$, $P_s(d')$, $I_s(d')$ yang masing-masing merepresentasikan ekspektasi penghematan ongkos garansi, ekspektasi penambahan ongkos produksi, dan ongkos *reliability improvement* per produk, maka ekspektasi penghematan total ongkos diberikan oleh persamaan (9).

$$T(d') = W_s(d') - P_s(d') - I_s(d') \quad (9)$$

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

4.3 Ekspektasi Penghematan Ongkos Garansi per Unit

Persamaan ekspektasi penghematan ongkos garansi dapat dilihat pada persamaan (10).

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

$$Ws(d'_1, d'_2) = W(d'_1) + W(d'_2) \tag{10}$$

Penjelasan lebih rinci mengenai penghematan ongkos akan dijelaskan berikut ini:

a. Ekspektasi Penghematan Ongkos Garansi per Komponen per unit Selama Masa Garansi

Jumlah ekspektasi ongkos garansi per komponen per unit selama masa garansi sebelum *reliability improvement* dinyatakan oleh persamaan (11).

$$\begin{bmatrix} \text{ekspektasi ongkos} \\ \text{garansi per} \\ \text{komponen selama} \\ \text{masa garansi} \\ \text{sebelum reliability improvement} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{rata - rata ongkos} \\ \text{kerusakan per} \\ \text{kerusakan untuk} \\ \text{komponen ke - i} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ekspektasi jumlah} \\ \text{kerusakan selama} \\ \text{masa garansi} \\ \text{untuk komponen ke - i} \\ \text{sebelum reliability improvement} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} G(d) &= \sum_{i=1}^n Ck \cdot E \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \lambda(t; d) dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{N^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{\left(\frac{\sigma}{\tau}\right)^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{\left(\frac{\sigma}{\frac{5,1}{d^3} K t C b T}\right)^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{\left(\frac{\sigma}{\frac{5,1}{d^3} K t C b \frac{9,74 \times 10^5 P d}{n}}\right)^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \left[\frac{w^\beta}{\left(\frac{\sigma}{\frac{5,1}{d^3} K t C b \frac{9,74 \times 10^5 P d}{n}}\right)^\beta} \right] \end{aligned} \tag{11}$$

Jumlah ekspektasi ongkos garansi per komponen per unit selama masa garansi setelah dilakukannya *reliability improvement* dapat dilihat pada persamaan (12).

$$\begin{bmatrix} \text{ekspektasi ongkos} \\ \text{garansi per} \\ \text{komponen selama} \\ \text{masa garansi} \\ \text{setelah reliability improvement} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{rata - rata ongkos} \\ \text{kerusakan per} \\ \text{kerusakan untuk} \\ \text{komponen ke - i} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ekspektasi jumlah} \\ \text{kerusakan selama} \\ \text{masa garansi} \\ \text{untuk komponen ke - i} \\ \text{setelah reliability improvement} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} G(d') &= \sum_{i=1}^n Ck \cdot E \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \lambda(t; d') dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{N^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{\left(\frac{\sigma}{\tau}\right)^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{\left(\frac{\sigma}{\frac{5,1}{d^3} K t C b T}\right)^\beta} dt \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \int_0^w \frac{\beta t^{\beta-1}}{\left(\frac{\sigma}{\frac{5,1}{d^3} K t C b \frac{9,74 \times 10^5 P d}{n}}\right)^\beta} dt \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1}^n Ck \left[\frac{w^\beta}{\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^\beta} \right] \quad (12)$$

Sehingga ekspektasi penghematan ongkos garansi per unit selama masa garansi dinyatakan pada persamaan (13).

$$\begin{aligned} W_s(d') &= \sum_{i=1}^n W(d_i) \\ &= \sum_{i=1}^n [G(d) - G(d')] \\ &= \sum_{i=1}^n [Ck \int_0^w \lambda(t; d) dt - Ck \int_0^w \lambda(t; d') dt] \\ &= \sum_{i=1}^n Ck \left[\frac{w^\beta}{\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^\beta} - \frac{w^\beta}{\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d'^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^\beta} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

b. Ongkos Produksi Per Unit

Ekspektasi penambahan ongkos produksi per unit diperlihatkan pada persamaan (14).

$$\begin{aligned} P_s(d') &= \sum_{i=1}^n P_s(d_i) \\ &= \sum_{i=1}^n Di \left(\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u + \left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d'^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right) \end{aligned} \quad (14)$$

c. Ongkos Reliability Improvement Per Unit

Besarnya ongkos *reliability improvement* ditunjukkan oleh persamaan (15).

$$\left[\begin{array}{l} \text{ongkos reliability} \\ \text{improvement} \\ \text{per komponen} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{ongkos setup reliability} \\ \text{improvement per} \\ \text{komponen per unit} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{ongkos investasi} \\ \text{reliability improvement} \\ \text{per penambahan} \\ \text{parameter desain} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{penambahan nilai} \\ \text{parameter desain} \end{array} \right]$$

$$\begin{aligned} I_s(d') &= \sum_{i=1}^n I(d_i) \\ &= \sum_{i=1}^n \left[Cs + Ci \left(\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} - \frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d'^3} Kt Cb \ 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^m \right) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

4.4 Formulasi Model

Dengan mensubstitusikan persamaan (13), (14) dan (15) ke persamaan (9), maka diperoleh ekspektasi penghematan ongkos total per unit selama masa garansi yang diberikan pada persamaan (16).

$$T(d') = \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Ck \left[\frac{w^\beta}{\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^\beta} - \frac{w^\beta}{\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^\beta} \right] - \\ \sum_{i=1}^n Di \left[\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u + \left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right)^u \right] - \\ \sum_{i=1}^n \left[Cs + Ci \left(\left(\frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} - \frac{\sigma}{\left(\frac{5,1}{d^3} Kt Cb 9,74x10^5 \frac{Pd}{n} \right)} \right)^m \right) \right] \end{array} \right) \quad (16)$$

5. ANALISIS

5.1 Analisis Model

Penentuan nilai parameter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Parameter

Notasi		Komp. 1	komp. 2	Satuan
		Nilai	Nilai	
rata-rata ongkos minimal repair per kerusakan untuk komponen-i	C_k	3.000.000	2.000.000	Rp/unit
Parameter fungsi ongkos produksi komponen-i	D_i	100.000	1.500.000	Rp/unit
Ongkos Setup <i>reliability improvement</i> komponen-i	C_s	300.000	500.000	Rp/unit
penambahan nilai parameter skala dari komponen-i	C_r	110.000	125.000	Rp/unit
<i>masa garansi</i>	w	5		tahun
parameter fungsi ongkos investasi <i>reliability improvement</i>	m	3		
Parameter fungsi ongkos produksi	u	2		
parameter bentuk	β	2		
Faktor koreksi	K_i	1.5	1.5	
Penggunaan beban lentur	C_b	2	2	
Putaran poros	n	150	100	rpm
Daya	P_d	81.144	81.144	kW
Kekuatan tarik bahan	σ	52	52	Kg/mm ²

Nilai parameter didapatkan dari bengkel AUTO 2000 dan selebihnya dari penelitian sebelumnya. Perubahan parameter ongkos sebelum dan sesudah *reliability improvement* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah *Reliability Improvement*

Kondisi Awal					
Notasi	satuan	sebelum <i>reliability Improvement</i>	setelah <i>reliability Improvement</i>	total biaya	% kenaikan (penurunan)
d_1	milimeter	80	85,395		6,744
d_2	milimeter	100	101,155		1,155
E_1	kerusakan/unit	2,292	1,549		-32,417
E_2	kerusakan/unit	1,351	1,261		-6,66
$W(d_1,d_2)$	Rp/unit	9.579.970,897	5.622.586,808	3.957.384,089	-41,31
$P(d_1,d_2)$	Rp/unit			566.200,000	
$I(d_1,d_2)$	Rp/unit			1.205.068,744	
Total ekspektasi penghematan ongkos per unit				2.186.115,345	

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa variabel keputusan d'_1 dan d'_2 setelah dilakukan *reliability improvement* lebih besar dibandingkan sebelum dilakukan *reliability improvement*. Semakin besar variabel keputusan d'_1 dan d'_2 menandakan bahwa komponen tersebut semakin handal. Ekspektasi jumlah *minimal repair* setelah *reliability improvement* pada komponen 1 dan 2 menurun, untuk komponen 1 dari 2,292 unit menjadi 1,549 unit dan untuk komponen 2 dari 1,351 unit menjadi 1,261 unit. Komponen 1 mengalami penurunan kerusakan sebesar 32,417% kerusakan/unit dan komponen 2 mengalami penurunan sebesar 6,66% kerusakan/unit.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Model ini dapat di aplikasikan kedalam parameter desain yang direpresentasikan sebagai *safety factor* (N) dengan mengambil komponen mobil yaitu *axle shaft* dan *propelar shaft*.
2. Hasil dari pengaplikasian model peningkatan reliabilitas produk ini dapat menunjukkan bahwa dengan dilakukannya *reliability improvement* dapat menurunkan jumlah kerusakan yang terjadi selama masa garansi sehingga ongkos garansi per unit selama masa garansi semakin kecil.
3. Berdasarkan analisis sensitivitas terhadap model dengan mengubah nilai-nilai

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Model kebijakan ongkos garansi dapat dilakukan untuk jenis kebijakan garansi lain, misalnya dengan *Pro-Rata Warranty* (*PRW*).
2. Produk yang dipertimbangkan produk yang terdiri dari beberapa komponen yang disusun dengan rangkaian paralel.
3. Aplikasi model menggunakan produk yang dijamin dengan garansi dua dimensi.

7. REFERENSI

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

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

Kotler, P (1998), *Marketing Management, Analisis, Perencanaan, Implementasi, dan Kontrol Jilid 2 Edisi Revisi*. PT. Prenhallindo., Jakarta.

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

Sularso (1978), *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin Jilid 1*. PT. Pradnya Paramita., Jakarta.