J. Math. and Its Appl.
E-ISSN: 2579-8936
P-ISSN: 1829-605X
Vol. 14, No. 2, Desember 2017, 127-143

Analisa Penentuan Sisa Umur Bearing Menggunakan Fungsi Mean Residual Life (Studi Kasus Pada Mesin Sakurai Oliver-66 CV. Bintang Cakra)

Bella Dinda Famela [1] ,**Valeriana Lukitosari** [2] ,**Wahyu Fistia Doctorina** [3]
Departemen Matematika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
belladinda16@gmail.com [1],valerianaluki@gmail.com [2],
wahyu_fistia@matematika.its.ac.id [3]

Abstrak

Kerusakan pada *bearing* sering terjadi dalam dunia industri cetak *offset*, padahal *bearing* mempunyai peran penting sebagai pendukung pada putaran poros. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya. Dengan adanya gangguan tersebut tentunya akan menimbulkan kerugian pada pihak perusahaan tersebut akibat hilangnya waktu produksi selama proses berlangsung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keandalan, laju kerusakan, umur , sisa umur *bearing* dengan metode *Least Square* dan metode Estimasi Maksimum *Likelihood* (MLE). Simulasi dengan 4 *bearing* yang terpilih berdasarkan Maksimum *Likelihood* (MLE). Simulasi dengan 4 *bearing* yang terpilih berdasarkan *owntime* terbesar. Sehingga didapatkan nilai taksiran sisa umur metode *Least Square bearing* 6001 ZZ 11 hari 18 jam; *bearing* 6205 ZZ 16 hari 21 jam; *bearing* 0606 ZZ 9 hari 15 jam , *thrust bearing* 7 hari 13 jam. Sedangkan metode *Estimasi Maksimum Likelihood* dari *bearing* 6001 ZZ 23 hari 10 jam; *bearing* 6205 ZZ 25 hari 1 jam; *bearing* 0606 ZZ 29 hari 1 jam , *thrust bearing* 19 hari 14 jam.

Kata Kunci— *keandalan, laju kerusakan, sisa umur, umur.*

1. Pendahuluan

Industri dapat dijadikan sebagai indikator terjadinya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, maka pertumbuhan industri juga akan semakin pesat. Seiring dengan majunya industrialisasi dan ketatnya kompetisi, sebuah perusahaan dituntut mampu tetap bertahan dan memenangkan persaingan dengan perusahaan lain. Persoalan yang sering dihadapi dalam dunia industri adalah adanya suatu pernyataan bahwa suatu sistem yang telah dirancang dan dibuat secanggih dan sekompleks apapun pasti akan mengalami gangguan, baik gangguan ringan, sedang maupun berat [1]. Dengan adanya gangguan ini .tentunya akan menimbulkan kerugian pada pihak perusahaan tersebut akibat hilangnya waktu produksi yang dilakukan selama proses berlangsung.

Suatu produk yang baik tentunya harus memperhatikan karakteristik mutunya. Hal-hal yang berhubungan dengan mutu dapat berupa umur atau reliabilitas. Makin lama kemampuan hidup dari produk, dapat dikatakan bahwa mutunya semakin bagus. Peluang suatu produk untuk dapat hidup lebih dari waktu yang telah ditentukan disebut reliabilitas [2]. Setiap produk diharapkan mempunyai reliabilitas yang tinggi, agar produk tersebut disukai oleh konsumen. Untuk menggambarkan intensitas peluang bahwa umur produk akan gagal pada waktu tertentu, merupakan tingkat resiko kegagalan pada waktu tersebut atau yang biasanya disebut dengan laju kerusakan. Nilai ini merupakan rambu-rambu untuk mengetahui tingkat bahaya bahwa *bearing* akan mengalami kerusakan.

Umur produk merupakan lamanya produk tersebut mampu berfungsi sampai tiba waktu kegagalannya. Sedangkan sisa umur produk merupakan lamanya produk masih berfungsi setelah waktu tertentu. Reliabilitas, umur dan sisa umur produk adalah saling berhubungan. Sehingga dapat dikatakan bahwa mereka merupakan ukuran reliabilitas produk [3]. Ukuran-ukuran ini menyatakan kemampuan berfungsinya produk dari awal hingga muncul kegagalannya.

Salah satu elemen penting pada mesin cetak adalah *bearing* yang berperan sebagai pendukung pada putaran poros. *Bearing* merupakan sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya. Kegagalan pada perputaran *bearing* merupakan salah satu penyebab utama kerusakan dalam sebuah mesin. Kerusakan *bearing* harus diprediksi dengan akurat karena akan menentuk berapa lama sisa umur fungsi dari sebuah mesin [2]. Oleh karena itu, pemantauan secara dini terhadap kondisi *bearing* menjadi hal yang penting, sehingga *bearing* dapat diganti sebelum mengalami kerusakan secara menyeluruh.

Atas dasar itulah maka, dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian untuk mengetahui reliabilitas, laju kerusakan, umur dan sisa umur *bearing* menggunakan metode Estimasi Maksimum *Likelihood* (MLE) dan metode *Least Square*. Dalam penelitian ini penulis menggunakan nilai *Mean Square Error* (MSE) untuk menentukan metode terbaik dalam pendugaan parameter distribusi.

2. Metode Penelitian.

2.1Studi Literatur

Tahapan awal yang dilakukan adalah identifikasi masalah dengan pengumpulan teori pendukung mengenai pengertian *bearing*, keandalan, laju kerusakan, penetuan umur dan penentuan sisa umur pada komponen mesin.

2.2Pengumpulan Data

Pada tahap ini yaitu mengumpulkan data *downtime* masing-masing *bearing* pada mesin Sakurai Oliver-66. Disini penulis akan melakukan analisa data sekunder yang telah diolah oleh teknisi mesin untuk menentukan nilai *downtime* yang terbesar. *Bearing* dengan nilai *downtime* terbesar diindikasikan mempunyai jumlah kerusakan yang besar pula, sehingga diperlukan analisa lebih lanjut. Data waktu kerusakan yang akan diolah oleh penulis adalah *time to failure* (TTF) dimana TTF adalah selang waktu kerusakan awal yang telah diperbaiki hingga terjadi kerusakan berikutnya.

2.3 Penentuan Distribusi yang Sesuai

Pada tahap pengolahan data, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan distribusi kerusakan yang paling sesuai dari ke empat distribusi yaitu Eksponensial, Weibull, Lognormal dan Normal pada masing-masing *bearing.* Untuk menentukan distribusi yang sesuai adalah dengan mencari nilai *Index of Fit* yang terbesar dari setiap distribusi. Setelah itu dilakukan uji kecocokan distribusi atau *Goodness of Fit* yang terdiri dari tiga jenis yaitu uji *Bartlett* untuk distribusi Eksponensial, uji *Mann* untuk distribusi Weibull dan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

2.4 Penentuan Nilai Parameter

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan nilai parameter dari distribusi yang telah sesuai dengan data *downtime* dengan metode kuadrat terkecil *(least square)* dan MLE. Selanjutnya nilai parameter tersebut disubtitusikan kedalam rumus keandalan, laju kerusakan, umur dan sisa umur sehingga diperoleh nilai keandalan, laju kerusakan, umur dan sisa umur dari masing-masing *bearing* pada mesin cetak Sakurai Oliver-66.

2.5 Penarikan Kesimpulan

Dalam tahap akhir penelitian ini dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil analisa nilai keandalan, laju kerusakan berdasarkan distribusi yang terpilih dan memperoleh hasil umur dari *bearing* serta sisa umur *bearing.*

3.Analisa dan Pembahasan

3.1 Reliabilitas , Laju Kerusakan, Umur dan Sisa Umur Distribusi Weibull.

Reliabilitas adalah peluang suatu produk untuk dapat hidup lebih dari waktu yang telah ditentukan [4].

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \tag{1}$$

Untuk menggambarkan intensitas peluang bahwa umur produk akan gagal pada waktu tertentu, merupakan tingkat resiko kegagalan pada waktu tersebut atau yang biasanya disebut dengan laju kerusakan [4].

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

Umur produk merupakan lamanya produk tersebut mampu berfungsi sampai tiba waktu kegagalannya [5].

$$E(t) = \theta\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right) \quad (3)$$

Sedangkan sisa umur produk merupakan lamanya produk masih berfungsi setelah waktu tertentu [6].

$$m(t) = \frac{\int_t^\infty t\, f(t)dt}{R(t)} - t \quad (4)$$

3.2 Penentuan Distribusi yang Sesuai

Untuk menentukan distribusi yang sesuai adalah dengan mencari nilai *Index of Fit* yang terbesar dari setiap distribusi. Setelah itu dilakukan uji kecocokan distribusi atau *Goodness of Fit* yang terdiri dari tiga jenis yaitu uji *Bartlett* untuk distribusi Eksponensial, uji *Mann* untuk distribusi Weibull dan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Normal dan Lognormal. Berikut merupakan hasil perhitungan *index of Fit* pada masing-masing komponen :

Tabel 1 Hasil Perhitungan *index of Fit*

Bearing	Distribusi Terpilih	*Index Of Fit*
6001 ZZ	Weibull	0,98891
6205 ZZ	Weibull	0,98944
0606 ZZ	Weibull	0,98886
Thrust Bearin	Weibull	0,99065

Setelah diketahui bahwa komponen telah berdistribsi Weibull, maka langkah selanjutnya dilakukan pada tahap uji kesesuaian distribusi dengan menggunakan Uji Mann :

Hipotesa untuk uji ini adalah [7]:

$H_0 : T = F(t)$

$H_1 : T \neq F(t)$

Sedangkan,

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{n-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}\right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}\right]}$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$Z_i = \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{i - 0{,}3}{n + 0{,}4}\right)\right]$$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor \quad ; \quad k_2 = \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor$$

$$v_1 = 2k_1 \,;\; v_2 = 2\,k_2 \,;\; F_{tabel} = F_{\alpha, v_1, v_2}$$

Jika $M < F_{tabel}$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

a. *Bearing* 6001 ZZ

Hipotesa Uji:

$H_0 : T = F(t)$

$H_1 : T \neq F(t)$:

Dengan n = 8, $k_1 = 4$; $k_2 = 3{,}5$; $v_1 = 8$; $v_2 = 7$ maka didapat nilai M adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{(4)(0{,}12640)}{(3{,}5)(0{,}12043)} = 1{,}19946$$

Kriteria Uji:

$$F_{tabel} = F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0{,}05;8;7} = 3{,}73$$

Didapat nilai $M < F_{tabel} = 1{,}19946 < 3{,}73$ yang artinya H_0 diterima. Maka dapat disimpulkan data kerusakan terdistribusi Weibull.

b. *Bearing* 6205 ZZ

Hipotesa Uji:

$H_0: T = F(t)$

$H_1: T \neq F(t)$

Dengan n = 8, $k_1 = 4$; $k_2 = 3{,}5$; $v_1 = 8$; $v_2 = 7$ maka didapat nilai M adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{(4)(0{,}12445)}{(3{,}5)(0{,}12323)} = 1{,}15421$$

Kriteria Uji:

$$F_{tabel} = F_{\alpha,v_1,v_2} = F_{0,05;8;7} = 3{,}73$$

Didapat nilai $M < F_{tabel} = 1{,}15421 < 3{,}73$ yang artinya H_0 diterima. Maka dapat disimpulkan data kerusakan terdistribusi Weibull.

c. *Bearing* 0606 ZZ

Hipotesa Uji:

$H_0: T = F(t)$

$H_1: T \neq F(t$

Dengan n = 8, $k_1 = 4$; $k_2 = 3{,}5$; $v_1 = 8$; $v_2 = 7$ maka didapat nilai M adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{(4)(0{,}12627)}{(3{,}5)(0{,}12111)} = 1{,}19154$$

Kriteria Uji:

$$F_{tabel} = F_{\alpha,v_1,v_2} = F_{0,05;8;7} = 3{,}73$$

Didapat nilai $M < F_{tabel} = 1{,}19154 < 3{,}73$ yang artinya H_0 diterima. Maka dapat disimpulkan data kerusakan terdistribusi Weibull.

d. *Thrust Bearing*

Hipotesa Uji:

$H_0: T = F(t)$

$H_1: T \neq F(t)$

Dengan n = 8, $k_1 = 4$; $k_2 = 3{,}5$; $v_1 = 8$; $v_2 = 7$ maka didapat nilai M adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{(4)(0{,}12875)}{(3{,}5)(0{,}11931)} = 1{,}12332$$

Kriteria Uji:

$$F_{tabel} = F_{\alpha,v_1,v_2} = F_{0,05;8;7} = 3{,}73$$

Didapat nilai $M < F_{tabel} = 1{,}12332 < 3{,}73$ yang artinya H_0 diterima. Maka dapat disimpulkan data kerusakan terdistribusi Weibull.

3.3 Penentuan Nilai Parameter

Penentuan nilai parameter dari distribusi yang terpilih digunakan untuk mengetahui parameter dari data TTF yang telah diuji *index of fit* dan *goodness of fit*. Berikut adalah perhitungan dalam penentuan nilai parameter untuk masing-masing *bearing* :

a. Metode *Least Square*

Penaksir parameter distribusi Weibull adalah sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{n}\left(\sum_{i-1}^{n} Y_i - b\sum_{i-1}^{n} X_i\right) = \bar{Y} - b\bar{X} \tag{5}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \bar{Y}\sum_{i=1}^{n} X_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i{}^2 - \bar{X}\sum_{i=1}^{n} X_i\right)} \tag{6}$$

dengan,

$$x_i = \ln t_i$$

$$y_i = \ln\ln\left[\frac{1}{1 - F(t_i)}\right]$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0{,}3}{n + 0{,}4}$$

dimana :

t_i : data kerusakan ke -i

i : 1, 2, 3, …, n

Dengan kedua konstanta a dan b maka parameter distribusi Weibull dapat ditentukan parameter yaitu:

$$\beta = b \tag{7}$$

$$\theta = e^{\frac{-a}{b}} \tag{8}$$

Dari perhitungan nilai parameter θ dan β menggunakan perhitungan diatas, didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 2 Hasil parameter distribusi Weibull

Komponen	Nilai Parameter	
	θ	β
Bearing 6001 ZZ	9773,64352	26,30218
Bearing 6205 ZZ	9794,68238	26,24173
Bearing 0606 ZZ	9752,47337	26,22811
Thrust Bearing	9731,14054	26,29154

b. Metode Estimasi Maksimum *Likelihood*

Penaksir parameter distribusi Weibull adalah sebagai berikut :

Pembentukan fungsi likelihood :

$$f(t;\beta;\theta) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \tag{9}$$

$$L(t;\beta;\theta) = f(t_1;\beta;\theta)f(t_2;\beta;\theta)\ldots f(t_n;\beta;\theta)$$

$$= \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t_1}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t_1}{\theta}\right)^{\beta}} . \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t_2}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t_2}{\theta}\right)^{\beta}} \ldots . \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t_n}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t_n}{\theta}\right)^{\beta}}$$

Pembentukan Log Likelihood :

$$\ln L(t;\beta;\theta) = l(\beta;\theta;t)$$

$$l(\beta;\theta;t) \quad = n\ ln\beta - n\beta\ ln\theta + ln \prod_{i=1}^{n} t_i{}^{\beta-1} - \frac{1}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

$$= n\ ln\beta - n\beta\ ln\theta + (\beta-1)ln\prod_{i=1}^{n} t_i - \frac{1}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

$$= n\ ln\beta - n\beta\ ln\theta + (\beta-1)\ln(t_1, t_2 \cdots t_n) - \frac{1}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

$$= n\ ln\beta - n\beta\ ln\theta + (\beta-1)\sum_{i=1}^{n} lnt_i - \frac{1}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

Karena

$$\frac{\partial l(\beta;\theta;t)}{\partial\theta} = 0, \text{ maka}$$

$$= \frac{\partial}{\partial\theta}\left[nln\beta - n\beta ln\theta + (\beta-1)\sum_{i=1}^{n} lnt_i - \frac{1}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta\right]$$

$$= -\frac{n\beta}{\theta} + \frac{\beta}{\theta^{(\beta+1)}}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta = 0$$

$$-\frac{n\beta}{\theta} = -\frac{\beta}{\theta^{(\beta+1)}}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

$$\frac{n\beta}{\theta} = \frac{\beta}{\theta^{(\beta+1)}}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

$$\frac{n\beta}{\theta}.\theta = \frac{\beta}{\theta^{(\beta+1)}}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta.\theta$$

$$n\beta = \frac{\beta}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta$$

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta}{\theta^\beta}$$

$$\theta^\beta = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta}{n}$$

$$\theta = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i)^\beta}{n}\right]^{\frac{1}{\beta}} \tag{10}$$

Karena

$$\frac{\partial l(\beta;\theta;t)}{\partial\beta} = 0\ , \text{ maka}$$

$$= \frac{\partial}{\partial \beta}\left[ln\beta - n\beta\, ln\theta + (\beta - 1)\sum_{i=1}^{n} lnt_i - \frac{1}{\theta^\beta}\sum\nolimits_{i=1}^{n} (t_i)^\beta \right]$$

$$= \frac{\partial}{\partial \beta}\left[ln\beta - n\beta\, ln\theta + (\beta - 1)\sum_{i=1}^{n} lnt_i - \sum\nolimits_{i=1}^{n} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta \right]$$

$$= \frac{n}{\beta} - nln\theta + \sum_{i=1}^{n} lnt_i - \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta ln\left(\frac{t_i}{\theta}\right) = 0$$

$$-\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta ln\left(\frac{t_i}{\theta}\right) - nln\theta + \frac{n}{\beta} = -\sum_{i=1}^{n} lnt_i$$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta ln\left(\frac{t_i}{\theta}\right) + nln\theta - \frac{n}{\beta} = \sum_{i=1}^{n} lnt_i$$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta ln(t_i) - \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta ln\theta + n\, ln\theta - \frac{n}{\beta} = \sum_{i=1}^{n} lnt_i$$

Subtitusi :

$$\frac{1}{\theta^\beta}\sum_{i=1}^{n} t_i^{\ \beta} lnt_i - nln\theta + nln\theta - \frac{n}{\beta} = \sum_{i=1}^{n} lnt_i$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\ \beta} lnt_i}{\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\ \beta}}{n}} - \frac{n}{\beta} = \sum_{i=1}^{n} lnt_i$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\ \beta} lnt_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\ \beta}} - \frac{1}{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} lnt_i}{n}$$

Nilai dugaan parameter bagi β diperoleh melalui pendekatan iterasi metode Newton-Raphson dengan mengganggap bahwa:

$$f(\beta) = \frac{\partial l(\beta;\theta;t)}{\partial \beta} = 0$$

Langkah-langkah metode Newton-Raphson untuk mencari dugaan parameter adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai awal β_0

2. Menentukan persamaan $f(\beta)$

$$f(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} \ln t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta}} - \frac{1}{\beta} - \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln t_i}{n}$$

dan turunan pertama dari $f(\beta)$ adalah

$$f'(\beta) = \frac{df(\beta)}{d\beta}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} \sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} (\ln t_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} \ln t_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta}\right)^2} + \frac{1}{\beta^2}$$

3. Subtitusi persamaan $f(\beta)$ dan turunan pertamanya $f'(\beta)$ kedalam rumus metode Newton-Raphson

$$\beta_{n+1} = \beta_n - \frac{f(\beta_n)}{f'(\beta_n)}$$

$$\beta_{n+1} = \beta_n - \frac{\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} \ln t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta}} - \frac{1}{\beta} - \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln t_i}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} \sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} (\ln t_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta} \ln t_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n} t_i^{\beta}\right)^2} + \frac{1}{\beta^2}}$$

4. Iterasi dihentikan jika nilainya telah konvergen. Artinya, nilai β_{n+1} itulah yang dijadikan nilai aproksimasi untuk β.

Dari perhitungan nilai parameter θ dan β menggunakan perhitungan diatas, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3 Hasil parameter metode Newton-Raphson

Komponen	Nilai Parameter	
	θ	β
Bearing 6001 ZZ	9760,67625	31,75040
Bearing 6205 ZZ	9782,08225	31,67080
Bearing 0606 ZZ	9739,55096	31,67550
Thrust Bearing	9718,58937	31,59320

3.4 Perhitungan Nilai Keandalan, Laju Kerusakan, Umur, Sisa Umur dan Nilai Error Masing-masing Komponen

Setelah didapatkan nilai parameter selanjutnya adalah dilakukan penghitungan nilai keandalan, laju kerusakan, umur dan sisa umur dari masing-masing *bearing.*

a.Metode *Least Square*

Tabel 4 Hasil parameter metode *Least Square*

Komponen	Keandalan	Laju Kerusakan
Bearing 6001 ZZ	0,94541	0,00017
Bearing 6205 ZZ	0,94799	0,00016
Bearing 0606 ZZ	0,94185	0,00018
Thrust Bearing	0,93892	0,00019

Tabel 5 Hasil parameter metoda *Least Square*

Komponen	Umur	Sisa Umur
Bearing 6001 ZZ	1 tahun 1 bulan 29 hari	11 hari 18 jam
Bearing 6205 ZZ	1 tahun 1 bulan 3 hari	16 hari 21 jam
Bearing 0606 ZZ	1 tahun 1 bulan 2 hari	9 hari 15 jam
Thrust Bearing	1 tahun 1 bulan 1 hari	7 hari 13 jam

b.Metode Estimasi Maksmimum *Likelihood*

Tabel 6 Hasil parameter Metode Estimasi Maksmimum *Likelihood*

Komponen	Keandalan	Laju Kerusakan
Bearing 6001 ZZ	0,96827	0,00012
Bearing 6205 ZZ	0,97011	0,00011
Bearing 0606 ZZ	0,96578	0,00013
Thrust Bearing	0,96309	0,00014

Komponen	Umur	Sisa Umur
Bearing 6001 ZZ	1 tahun 1 bulan 4 hari	23 hari 10 jam
Bearing 6205 ZZ	1 tahun 1 bulan 5 hari	25 hari 1 jam
Bearing 0606 ZZ	1 tahun 1 bulan 11 hari	29 hari 1 jam
Thrust Bearing	1 tahun 1 bulan 2 hari	19 hari 14 jam

Setelah didapatkan nilai keandalan, laju kerusakan, umur dan sisa umur pada masing-masing bearing, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai error pada masing-masing metode untuk mengetahui metode terbaik dalam menaksir parameter data TTF dari masing-masing bearing pada Mesin Sakurai Oliver-66. Persamaan didefinisikan sebagai [8]:

$$MSE = \sum_{i=1}^{n} \left| \widehat{F(t_i)} - F(t_i) \right|^2 \tag{11}$$

Perhitungan nilai error pada masing-masing komponen :

Tabel 7 Hasil perhitungan error

Komponen	Metode LS	Metode MLE
Bearing 6001 ZZ	0,06397	0,12583

Bearing 6205 ZZ	0,06191	0,12551
Bearing 0606 ZZ	0,06470	0,12647
Thrust Bearing	0,05421	0,11445

4 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Untuk Metode *Least Square* :

Nilai keandalan dari *bearing* 6001 ZZ 0,94541; *bearing* 6205

1. Nilai keandalan dari *bearing* 6001 ZZ 0,94541; *bearing* 6205 ZZ 0,94799; *bearing* 0606 ZZ 0,94185 dan *thrust bearing* 0,93892.
2. Nilai laju kerusakan dari *bearing* 6001 ZZ 0,00017; *bearing* 6205 ZZ 0,00016; *bearing* 0606 ZZ 0,00018 dan *thrust bearing* 0,00019.
3. Nilai taksiran umur dari *bearing* 6001 ZZ 1 tahun 1 bulan 29 hari; *bearing* 6205 ZZ 1 tahun 1 bulan 3 hari; *bearing* 0606 ZZ 1 tahun 1 bulan 2 hari dan *thrust bearing* 1 tahun 1 bulan 1 hari.
4. Nilai taksiran sisa umur dari *bearing* 6001 ZZ 11 hari 18 jam; *bearing* 6205 ZZ 16 hari 21 jam; *bearing* 0606 ZZ 9 hari 15 jam dan *thrust bearing* 7 hari 13 jam.

Untuk Metode Estimasi Maksimum *Likelihood* :

1. Nilai keandalan dari *bearing* 6001 ZZ 0,96827; *bearing* 6205 ZZ 0,97011; *bearing* 0606 ZZ 0,96578 dan *thrust bearing* 0,96309.
2. Nilai laju kerusakan dari *bearing* 6001 ZZ 0,00012; *bearing* 6205 ZZ sebesar 0,00011; *bearing* 0606 ZZ 0,00013 dan *thrust bearing* 0,00014.
3. Nilai taksiran umur dari *bearing* 6001 ZZ 1 tahun 1 bulan 4 hari; *bearing* 6205 ZZ 1 tahun 1 bulan 5 hari; *bearing* 0606 ZZ 1 tahun 1 bulan 11 hari dan *thrust bearing* 1 tahun 1 bulan 2 hari.
4. Nilai taksiran sisa umaur dari *bearing* 6001 ZZ 23 hari 10 jam; *bearing* 6205 ZZ 25 hari 1 jam; *bearing* 0606 ZZ 29 hari 1 jam dan *thrust bearing* 19 hari 14 jam.

Dalam membandingkan metode terbaik dalam menduga parameter distribusi Weibull dengan dua parameter digunakan perbandingan Rata-Rata Kuadrat Galat (*Mean Square Error*). Metode yang terbaik adalah metode yang memiliki nilai MSE minimum. Metode terbaik dalam pendugaan menggunakan data TTF *bearing* 6001 ZZ, *bearing* 6205 ZZ, *bearing* 0606 ZZ , *thrust bearing* Mesin Sakurai Oliver-66 Metode *Least Square*.

5. Pustaka

[1] Suhardjono (2005). **"Analisis Sinyal Getaran Pada Tingkat Kerusakan Bantalan"**, Puslit Mechanical Journal. Jurusan Teknik Industri, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember , Surabaya.

[2]Lee. (2016). **"Analysis Life Time For Rolling Element Bearing"**.University of Rochester, New York. Vol 2, No.4, 42-45.

[3]Pratiwi,dkk. (2015). **"Penggunaan Analisa Ketahanan Hidup Untuk Penentuan Periode Garansi dan Harga Produk Pada Data Waktu Hidup Lampu Neon"**. Jurusan Statistika, Universitas Diponegoro, Semarang. Vol 4, No.3, 463-476.

[4]Dhillon, B. S.(1997). **"*Reliability Engineering in System Design and Operation*"**. Van Nostrand Reinhold Company, Inc., Singapore.

[5]Sudarno. (2009). **"Karakteristik Umur Produk Pada Model Weibull"**. Jurusan Statistika,Universitas Diponegoro, Semarang. Vol.2, No.2, 105-110.

[6]Hall and Wellner. (1981). ***"Mean Residual Life".*** University of Rochester, New York.

[7]Ebeling, Charles E. (2003). **"*An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*"**.United Kingdom:The British Library Document Supply Centre.

[8] Lei, Y. (2008). ***"Evaluation Of Three Methods For Estimating The Weibull Distribution Parameters Of Chinese Pine"***. Chinese Academy

of Forestry, Beijing (China). Research Inst. of Resource Information and Techniques.