

ESTIMASI KEAUSAN BEARING MENGGUNAKAN FAILURE RATE WEIBULL

ESTIMATION OF BEARING WEAR/DEGRADATION USING WEIBULL FAILURE RATE

¹Sutawanir Darwis, ²Nusar Hajarisman, ³Suliadi

^{1,2,3}Program Studi Statistika, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No 1, Bandung
e-mail: ¹std.darwis@gmail.com²nusarhajarisman@yahoo.com³suliadi@gmail.com

Abstract. Bearing is part of a machine enabling axis to rotate or rotating on the unmoved axis. Condition-Based Maintenance (CBM) is an equipment program based on information obtained through the monitoring of equipment condition. The monitoring of bearing degradation is a crucial aspect in equipment maintenance and plays a role in reducing a risk of fatal damage. Bearing degradation is quantified through failure rate. This research aims to develop a method of bearing wear estimation using Weibull failure rate. A failure rate is estimated by a probability of failure in a year period. A probability of failure estimated using data of bearing failure. The time of installment, time of failure occurrence, monitoring period, number of failures, and exposure are components in determining the estimation of failure probability. Weibull model is matched with failure rate and bearing age using regression method. Weibull model curve is feasible to be used for predicting bearing degradation. This research contributes in determining the probability of failure using the concept of exposure.

Keywords: Bearing degradation, Weibull failure rate, probability of failure

Abstrak. Bearing (bantalan) merupakan bagian suatu mesin dimana suatu poros berputar bertumpu padanya atau berputar pada poros yang tidak bergerak. Condition-Based Maintenance (CBM) merupakan program peralatan berdasarkan informasi yang diperoleh melalui pemantauan kondisi peralatan. Pemantauan keausan bearing (bearing degradation) merupakan aspek penting dalam perawatan peralatan dan berperan dalam mereduksi resiko kerusakan fatal. Keausan bearing dikuantifikasi melalui failure rate. Penelitian ini bertujuan mengembangkan suatu metode estimasi keausan bearing menggunakan failure rate Weibull. Failure rate ditaksir melalui peluang kegagalan dalam periode satu tahun. Peluang kegagalan ditaksir menggunakan data kegagalan bearing. Waktu pemasangan, waktu terjadinya kegagalan, periode observasi, banyak kegagalan, dan eksposur merupakan komponen dalam menentukan taksiran peluang kegagalan. Model Weibull dicocokkan pada data failure rate dan usia bearing menggunakan metode regresi. Kurva model Weibull layak digunakan untuk memprediksi keausan bearing. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam menentukan peluang kegagalan menggunakan konsep eksposur.

Kata kunci: keausan bearing, failure rate Weibull, data kegagalan

1. Pendahuluan

Prediksi failure degradasi bearing berdasarkan data bearing failure merupakan aspek penting dalam pemantauan kondisi kesehatan mesin. Caesarendra, Widodo, Yang (2011) menggunakan Cox-Proportional Hazard (CPH) untuk menghitung failure rate sebagai indikator tingkat degradasi bearing. Dua puluh sampel bearing disimulasikan

dalam dalam selang waktu 0 – 100. Lima belas bearing rusak sebelum 100 langkah waktu, dan lima bearing censored. Q-Q plot failure time memberikan parameter skala 4.52 dan parameter bentuk 4.71. Low speed (< 10 rpm) slewing bearings merupakan komponen mesin alat berat. Kerusakan slewing bearing dapat mengakibatkan kerugian disebabkan kehilangan produksi. Kosasih *et al.* (2014) mengembangkan teknik prognostik untuk low speed slewing bearing berdasarkan kombinasi low pass filter (LPF) dan adaptive line enhancer (ALE) sebagai preconditioning dan ARMA sebagai metode prediksi. Jardine *et al.* (2006) mereview metode-metode komputasi degradasi dalam konteks diagnostik dan prognostik mesin. Condition-based maintenance (CBM) merupakan suatu program perawatan dengan keputusan berdasarkan informasi yang dikumpulkan melalui pemantauan kondisi. CBM terdiri tiga tahapan: data acquisition, data processing, dan maintenance decision-making. Jardine *et al.* (2006) merangkum riset dan pengembangan dalam dalam diagnostik dan prognostik sistem mekanikal implementasi CBM.

Artikel ini bertujuan membahas estimasi keausan bearing melalui failure rate Weibull. Melalui data failure time ditentukan peluang terjadi failure untuk beberapa nilai waktu. Dengan informasi waktu pemasangan bearing, waktu terjadinya failure, dan periode observasi, diperoleh peluang terjadinya failure dalam suatu selang waktu. Melalui model failure rate diperoleh taksiran failure rate fungsi dari peluang terjadi failure. Metode prognostik digunakan untuk memprediksi kondisi bearing dikenal sebagai failure degradation.

2. Landasan teori

Diagnostik dan prognostik merupakan dua aspek penting dalam CBM. Diagnostik berkaitan dengan deteksi fault. Prognostik terkait dengan prediksi fault sebelum terjadi. Diagnostik merupakan posterior event analysis, dan prognostik merupakan prior event analysis. Data acquisition merupakan proses pengumpulan dan penyimpanan data untuk tujuan CBM. Data CBM dikategorikan sebagai event data dan data pemantauan kondisi. Event data mencakup informasi tentang apa yang terjadi dan apa yang telah dilakukan, data pemantauan kondisi adalah pengukuran terkait kondisi bearing. Data monitoring meliputi data vibrasi, data akustik, analisis pelumas, temperatur, tekanan, dll. Berbagai sensor, micro-sensor, ultrasonic sensor, acoustic sensor, telah dikembangkan untuk keperluan pengumpulan data. Pengolahan data untuk data waveform dinamakan pemrosesan sinyal. Prosedur ekstraksi informasi dari sinyal dinamakan ekstraksi feature. Data waveform pada condition monitoring adalah vibrasi sinyal dan emisi akustik. Terdapat tiga kategori data analisis waveform: time-domain, frequency-domain, dan time-frequency. Analisis time-domain data vibrasi menggunakan pendekatan model ARMA. Analisis frequency-domain data vibrasi menggunakan analisis spektrum menggunakan transformasi Fourier. Analisis data kombinasi data event dan data pemantauan kondisi dikenal sebagai analisis reliabilitas, dimana data event dicocokkan dengan suatu distribusi dan menggunakannya untuk analisis lebih lanjut. Pada CBM terdapat informasi tambahan berupa data kondisi pemantauan. Analisis data event dan data kondisi diperoleh melalui pengembangan model deskripsi mekanisme failure. Model yang dikembangkan berdasarkan event dan kondisi merupakan basis untuk maintenance decision support. Model proportional hazard model (PHM) merupakan model yang sesuai untuk analisis data event dan

monitoring. PHM menghubungkan probabilitas failure dengan usia dan peubah kondisi, sehingga dapat dianalisis probabilitas failure dengan kondisi mesin pada usia tertentu.

Estimasi degradasi failure rate (London, 1997). Misal n_x menyatakan banyak komponen yang berkontribusi pada $(x, x + 1]$, maka banyak failure adalah $\sum_{i=1}^{n_x} q_{x+r_i}$. Diperoleh persamaan moment estimasi $q_x = P(x < X \leq x + 1 | x > x)$

$$E(D_x) = \sum_{i=1}^{n_x} q_{x+r_i} = d_x$$

dengan D_x menyatakan banyak failures di selang $(x, x + 1]$, d_x menyatakan nilai observasi D_x . Dengan aproksimasi

$$q_{x+r_i} \gg (s_i - r_i) \cdot q_x$$

diperoleh

$$q_x \sum_{i=1}^{n_x} (s_i - r_i) = d_x$$

Selanjutnya taksiran q_x diberikan oleh persamaan

$$\hat{q}_x = \frac{d_x}{\sum_{i=1}^{n_x} (s_i - r_i)}$$

Selisih $s_i - r_i$ menyatakan kontribusi komponen (bearing) ke-i dalam selang $(x, x + 1]$ dan dinamakan eksposur terjadwal, $\sum_{i=1}^{n_x} (s_i - r_i)$ menyatakan total eksposur sampel. Bila failure terjadi di dalam selang $(x, x + 1]$, kontribusi dinamakan eksposur eksak. Bila $r_i = 0, s_i < 1$, eksposur scheduled $\sum_{i=1}^{n_x} s_i$. Dari \hat{q}_x diperoleh taksiran failure rate $\hat{m}_{x+\frac{1}{2}} = -\ln(1 - \hat{q}_x)$. Model Weibull $m(x) = kx^n$, melalui transformasi ln

$$\ln m(x) = \ln k + n \ln x = b_0 + b_1 \ln x, \hat{k} = e^{\hat{b}_0}, \hat{n} = \hat{b}_1$$

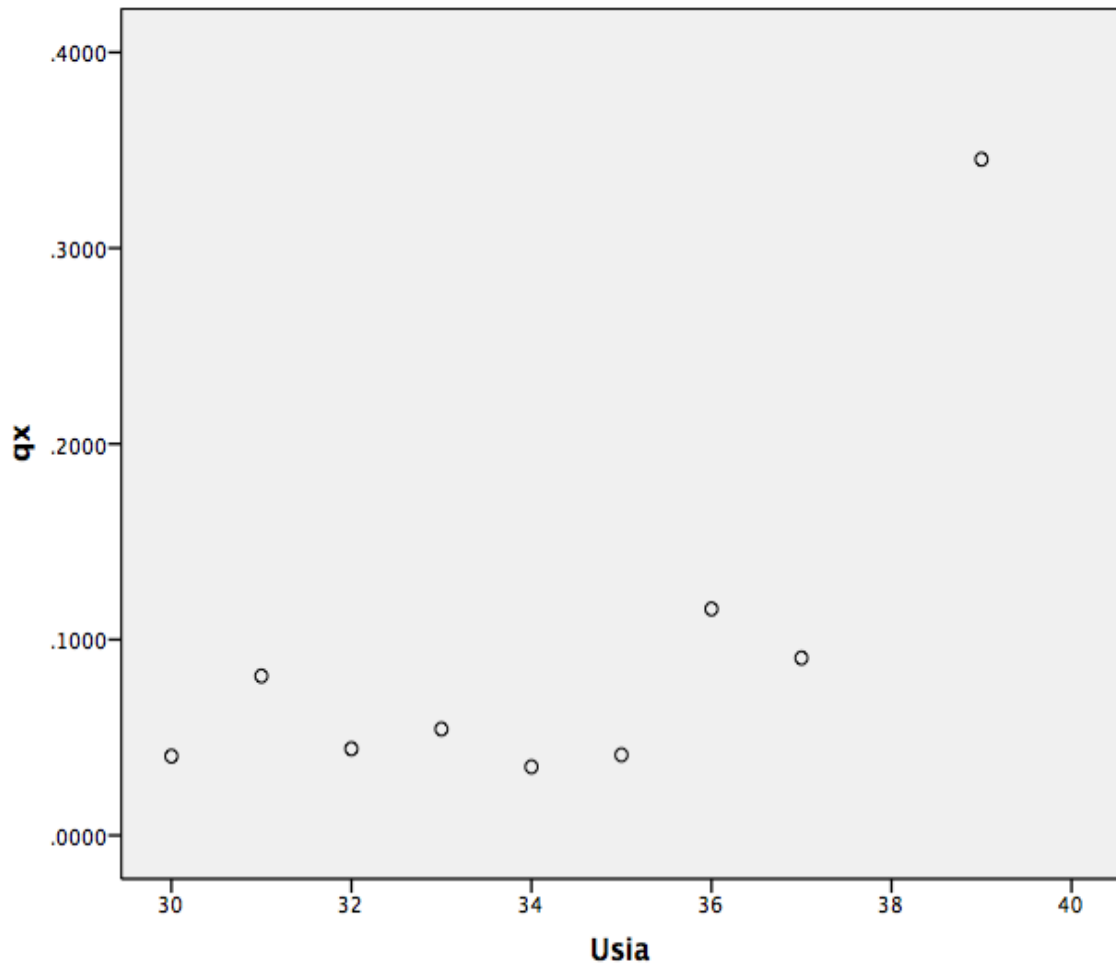
diperoleh regresi linear $\ln m(x)$ pada $\ln x$.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini digunakan data kejadian (event data, Jardine et al. 2006) berupa waktu pemasangan, waktu terjadinya kegagalan (failure), serta status pengamatan (tersensor atau tidak). Waktu pemasangan berkisar antara 1957 sampai 1969, waktu kegagalan berkisar 1994 sampai 1999. Periode observasi 1 Januari 1990 sampai 31 Desember 1999. Relatif terhadap periode observasi 1/1/90 – 31/12/99 diperoleh usia eksak terhadap awal observasi y , usia pada akhir observasi z , dan usia aktual pada waktu terjadi kegagalan q . Vektor usia $\mathbf{v} = (y, z, q)$ relatif terhadap selang $(x, x + 1]$ dikonversi menjadi vektor durasi $\mathbf{u} = (r, s, t)$;

$$r = \begin{cases} 0 & y \leq x \\ y - x & x < y < x + 1 \end{cases}, \quad s = \begin{cases} z - x & x < z < x + 1 \\ 1 & z \geq x + 1 \end{cases}, \quad t = \begin{cases} q - x & x < q \leq x + 1 \\ 0 & q > x + 1 \end{cases}$$

Bentuk umum penaksir q_x adalah $\hat{q}_x = \frac{d_x}{\text{eksposur}}$, dengan eksposur terjadwal $s - r$, eksposur eksak $\min(s, t) - r$. Gambar 1 memperlihatkan plot antara q_x terhadap x berdasarkan data kejadian dan periode observasi 1/1/90 – 31/12/99. Plot memperlihatkan pola q_x meningkat sesuai dengan usia x .



Gambar 1. Plot antara peluang failure q_x terhadap usia x berdasarkan data kejadian Tabel 1 dan periode observasi 1/1/99 – 31/12/99

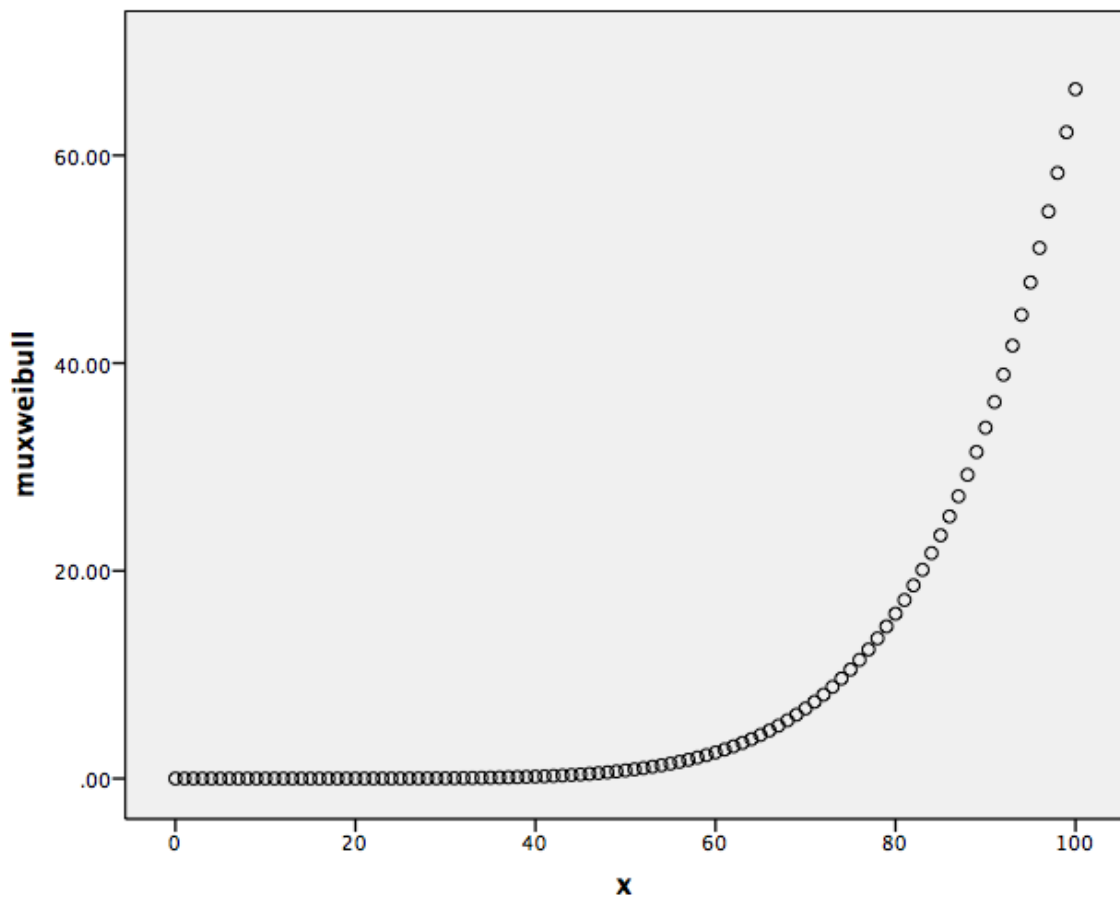
Dari Tabel 1, diperoleh taksiran parameter

$$\hat{k} = e^{\hat{b}_0} = e^{-25.305} = 10^{-11}, \quad \hat{n} = \hat{b}_1 = 6.411, \quad m_x = kx^n = 10^{-11} x^{6.41}$$

Tabel 1.
Regresi Weibull, $R^2 = .692$

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients		
1	(Constant)	-25.305	8.945		-2.829	.025
	Inxpsetengah	6.411	2.526	.692	2.538	.039

a. Dependent Variable: Inmusetengah



Gambar 2. Plot failure rate model Weibull $m_x = 10^{-1}x^{6.411}$, $x = 0,1, \dots, 100$

Gambar 2 memperlihatkan plot failure rate Weibull terhadap usia x. Terlihat keausan (failure rate) meningkat dengan meningkatnya usia. Dengan usia tertentu dapat ditentukan tingkat keausan bearing, dan sebaliknya, dengan tingkat keausan tertentu dapat diprediksi usia yang dicapai bearing.

4. Kesimpulan

Keausan bearing, dikuantifikasi failure rate, merupakan aspek penting dalam pemantauan kondisi keausan bearing. Model failure degradation merupakan fungsi dari peluang terjadinya failure. Peluang terjadinya kegagalan ditaksir melalui banyak kegagalan dibagi eksposur. Model shot noise layak diterapkan pada masalah bearing degradation menggunakan data kejadian-pemantauan. Penerapan pada data pemantauan bearing menunjukkan bahwa model Weibull merupakan model yang layak untuk kuantifikasi keausan bearing.

Daftar Pustaka

- Jardine, A., K. S., A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-based maintenance, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20, 1483-1510
- Caesarendra, W., Widodo, A., 2011, Combination of Probability Approach and Support Vector Machine Towards Machine Health Prognosis, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 26, 165-173
- Kosasih, P. B., Caesarendra, W., Tieu, K., Widodo, A., Moodie, C. A., 2014, Degradation Trend Estimation and Prognosis of Large Low Speed Slewing Bearing Lifetime, *Applied Mechanics and Materials*, 493, 343-348
- London, D., 1997, *Survival Models and Their Estimation*, ACTEX Publications