

Estimasi *Return Period* Degradasi *Bearing* dengan Metode *Probability Weighted Moment* (PWM) Distribusi Pareto Terampat

Siti Nurohmah*, Sutawanir Darwis

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*nurohmah031197@gmail.com, std.darwis@gmail.com

Abstract. Bearing degradation is a problem for companies that use machines to produce. Therefore, to monitor the state of the machine, a prognosis is needed to detect the machine before the damage occurs. One way to detect damage is using the Extreme Value Theory (EVT) method. One approach used to identify extreme values is to use Peak Over Threshold (POT), a method for determining extreme values by taking values that are above the u threshold (Gilli and Kallezi, 2003). The distribution of the POT values is the closest family of the Pareto distribution. This study discusses the problem of the return period for bearing degradation. In its application, the Probability Weighted Moment (PWM) method will be used to estimate parameters. The data used is bearing vibration data, namely secondary data obtained from the FEMTO bearing test experiment. In this study, bearings 1 and 7 are used in horizontal and vertical directions. With the return period, the remaining service life for horizontal 1_6 bearings is less than 2 months, while for horizontal 1_7 bearings is more than 3 years.

Keywords: EVT, Return Period, bearing vibration

Abstrak. Degradasi *bearing* merupakan masalah perusahaan yang menggunakan mesin untuk memproduksi. Oleh karena itu untuk mengawasi keadaan mesin diperlukan prognosis guna mendeteksi mesin sebelum terjadinya kerusakan. Salah satu cara untuk mendeteksi kerusakan menggunakan metode *Extreme Value Theory* (EVT). Salah satu pendekatan digunakan untuk mengidentifikasi nilai ekstrim adalah menggunakan *Peak Over Threshold* (POT) yaitu metode untuk menentukan nilai ekstrim dengan cara mengambil nilai yang berada di atas ambang batas u (Gilli dan Kallezi, 2003). Distribusi dari nilai POT merupakan keluarga distribusi pareto terampat. Penelitian ini membahas permasalahan *return period* untuk degradasi *bearing*. Pada penerapannya akan digunakan metode *Probability Weighted Moment* (PWM) untuk mengestimasi parameter. Data yang digunakan adalah data vibrasi *bearing* yakni data sekunder yang diperoleh dari eksperimen uji *bearing* FEMTO. Pada penelitian ini digunakan *bearing* 1 dan 7 arah *horizontal* dan *vertical*. Dengan *return period* didapatkan sisa usia pakai untuk *bearing* 1_6 *horizontal* adalah kurang dari 2 bulan sedangkan untuk *bearing* 1_7 *horizontal* adalah lebih dari 3 tahun.

Kata Kunci: EVT, Return Period, Vibrasi *bearing*.

1. Pendahuluan

Extreme Value Theory (EVT) adalah salah satu cara untuk melihat karakteristik nilai ekstrim yang berfokus pada perilaku ekor (*tail*) distribusi untuk menentukan nilai peluang ekstrim (Wahyudi, 2011). Terdapat dua cara untuk mengidentifikasi nilai ekstrim yaitu *Block Maxima* (BM) dan *Peak Over Threshold* (POT). Setelah mendapatkan nilai ekstrim dari suatu data kemudian menghitung nilai estimasi parameter skala dan bentuk yang mengikuti distribusi pareto terampat atau *Generalized Pareto Distribution* (GPD), pada kasus ini untuk

mengestimasi parameter skala dan bentuk dapat diperoleh dengan metode estimasi yang umum digunakan yaitu *Probability Weighted Moment* (PWM).

Melihat banyaknya keberhasilan dari penggunaan EVT untuk memprediksi *return period* menjadikan bukti bahwa metode ini dapat digunakan oleh berbagai jenis bidang tanpa perlu memenuhi asumsi tertentu terlebih dahulu. Oleh karena itu metode *Exreme Value Theory* (EVT) akan digunakan untuk meramalkan kapan terjadinya degradasi yang kemudian berdampak *downtime* pada vibrasi *bearing*. Menurut Sularso dan Kiyokatsu Suga (1987:103) “bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur”. Sebuah mesin dibangun oleh beberapa elemen salah satunya adalah elemen penyangga yang disebut bantalan (*bearing*) berfungsi untuk menahan poros berbeban

Berdasarkan uraian tersebut maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui estimasi parameter *Generalized Pareto Distribution* (GPD) menggunakan metode *Probability Weighted Moment* (PWM) serta untuk mengetahui prediksi *return level* dan *return period* pada data degradasi vibrasi *bearing* dengan *Exreme Value Theory* (EVT).

2. Landasan Teori

Teori nilai ekstrim atau *Exreme Value Theory* (EVT) bertujuan untuk menentukan perkiraan peluang kejadian ekstrim dengan memperhatikan ekor fungsi distribusi berdasarkan nilai-nilai ekstrim yang diperoleh. Terdapat dua metode untuk mengidentifikasi nilai ekstrim, yaitu *Block Maxima* dan *Peak Over Threshold* (Gilli dan Kallezi, 2003).

Peak Over Threshold (POT) adalah metode untuk menentukan nilai ekstrim dengan cara mengambil nilai yang berada di atas ambang batas u . Teorema Picklands, Delkema, dan Denhaan (Gilli dan Kallezi, 2003) menyatakan ketika u sangat besar ($u \rightarrow \infty$) maka data ekstrim tersebut akan konvergen pada *Generalized Pareto Distribution* GPD. Langkah awal dalam menganalisis menggunakan POT adalah dengan menentukan nilai threshold (u). Terdapat beberapa cara untuk menentukan nilai ekstrim dengan metode *Peak Over Threshold*, yaitu metode *Mean Residual Life Plot* (MRLP) (Coles, 2001), metode persentase (Chaves dan Embrechts, 2004) dan *Sample Mean Excess Function* (SMEF) (Omey dkk, 2009).

Penentuan nilai *threshold* dengan menggunakan metode *Mean Residual Life Plot* (MRLP) dianalogikan seperti menentukan ukuran blok yang akan dipilih sehingga ada keseimbangan antara bias dan keragaman. Menurut Coles (2001), Pemilihan nilai threshold dalam sebaran GPD dapat menggunakan Mean Residual Life Plot (MRLP). Prosedur untuk menentukan nilai ambang batas ini dapat dilakukan dengan cara membentuk MRLP. Metode MRLP didasarkan pada rata-rata nilai ekstrim, berikut ini adalah titik koordinat dalam membuat MRLP.

$$\left\{ \left(u, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - u) \right) ; u < x_{maks}; i = 0, 1, \dots, n \right\} \quad (1)$$

Metode yang lebih mudah digunakan dalam menentukan nilai *threshold* menurut (Chavez-Demoulin, 1999) dalam Irfan, 2011 adalah dengan menggunakan metode persentase yang merupakan metode dengan menentukan nilai ambang batas 10% dari data nilai ekstrim. Berikut ini langkah-langkah mengidentifikasi nilai ekstrim menggunakan metode persentase:

1. Mengurutkan data dari yang terbesar sampai terkecil.
2. Menghitung banyak data ekstrim 10% dari keseluruhan data.
3. Menentukan nilai ambang batas u .
4. Rumus ambang batas u adalah sebagai berikut:

$$n = 10\% \times N \quad (2)$$

$$u = n + 1 \quad (3)$$

Keterangan:

- N : Ukuran data/banyaknya data awal.
 n : Ukuran sampel/banyaknya data ekstrim.
 u : nilai *threshold*/ambang batas.

Distribusi *Generalized Pareto Distribution* (GPD) merupakan pendekatan distribusi

yang sesuai untuk memodelkan kejadian ekstrim dengan metode POT. GPD dapat digunakan untuk memodelkan nilai-nilai ekstrim dari peubah acak X yang melebihi ambang batas u yang cukup tinggi. GPD memiliki dua parameter yaitu parameter skala (σ) dan parameter bentuk (ξ). Berikut di bawah ini adalah *Cumulative Density Function* (CDF) untuk *Generalized Pareto Distribution*:

$$G_{\xi,\sigma}(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 - \frac{\xi(x-u)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}} & , \xi \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(x-u)}{\sigma}\right) & , \xi = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Fungsi kepadatan peluang GPD yaitu:

$$g_{\xi,\sigma}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 - \frac{\xi(x-u)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}-1} & , \xi \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x-u)}{\sigma}\right) & , \xi = 0 \end{cases} \quad (5)$$

GPD memiliki tiga tipe distribusi, yaitu tipe I berdistribusi Eksponensial jika $\xi=0$, Tipe II berdistribusi Pareto jika $\xi>0$, dan Tipe III berdistribusi Beta jika $\xi<0$. Untuk mengestimasi parameter dari distribusi *Generalized Pareto Distribution* digunakan metode *Probability Weighted Moment* (PWM) yang merupakan salah satu metode untuk mengestimasi parameter yang merupakan modifikasi dari metode konvensional momen. Berdasarkan sampel acak dengan $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ dimana $n > r$ dan $n > s$ yang kemudian diperoleh estimasi yang tidak bias untuk PWM sebagai berikut:

$$\sigma_s = a'_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \binom{n-i}{s} x_i / \binom{n-1}{s} \quad (6)$$

$$\xi_r = b'_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \binom{i-1}{r} x_i / \binom{n-1}{r} \quad (7)$$

Keterangan:

$\sigma_s = a'_s$: Parameter skala untuk s dimana $s = 0,1, \dots$

$\xi_r = b'_r$: Parameter bentuk untuk r dimana $r = 0,1, \dots$

n : Ukuran sampel/banyaknya data ekstrim.

x_i : Data x ke- i , dimana $i = 1,2, \dots, n$.

$\binom{n-i}{s}$: Kombinasi $n - i$ dengan s .

Menurut Jan Beirlant (2004) dalam purwakinanti (2014) GPD mempunyai 2 parameter yaitu parameter skala (σ) dan parameter bentuk (ξ). Estimasi untuk parameter GPD dengan metode PWM yaitu dengan mengambil nilai $p = 1, r = 0$ dan $s = 0,1,2, \dots$ sehingga didapatkan:

$$a_s = \frac{\sigma_s}{(s+1)(s+1+\xi_s)} \quad \xi < 1 \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (8) didapatkan:

$$a_0 = \frac{\sigma_0}{1(1+\xi_0)} \quad (9)$$

$$a_1 = \frac{\sigma_1}{2(2+\xi_1)} \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan (9) dan (10) dengan $s = 0$ dan $s = 1$ diperoleh nilai $\hat{\xi}$ dan $\hat{\sigma}$ sebagai berikut:

$$\hat{\xi} = \frac{a_0}{a_0 - 2a_1} - 2 \quad (11)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{2a_0a_1}{a_0 - 2a_1} \quad (12)$$

Keterangan:

$\hat{\xi}$: Estimasi parameter bentuk.

$\hat{\sigma}$: Estimasi parameter skala.

Selanjutnya dilakukan uji kecocokan distribusi menggunakan *Kolmogorov-Smirnov* sebagai metodenya guna mengoreksi kesesuaian fungsi distribusi sampel $F_n(x)$ dengan distribusi teoritis $F_0(x)$, dibawah ini merupakan hipotesis uji kesesuaian distribusi:

H_0 : $F_n(x) = F_0(x)$; data mengikuti distribusi teoritis (GPD)

H_1 : $F_n(x) \neq F_0(x)$; data tidak mengikuti distribusi teoritis (GPD)

Statistik uji untuk kecocokan distribusi *Kolmogorov-Smirnov* satu sampel dengan perhitungan menggunakan bantuan *software* akan didapat nilai $p - value$ atau *sig.* dengan

rentang 0 – 1, sedangkan dengan cara tradisional tanpa *software* statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$D = \max |F_n(x) - F_0(x)| \quad (13)$$

Keterangan:

D : Statistik uji Kolmogorov-Smirnov.

$F_n(x)$: Peluang fungsi kumulatif dari distribusi data yang diamati (sampel).

$F_0(x)$: Peluang fungsi kumulatif dari distribusi teoritis.

Kriteria uji tolak H_0 jika $D > D_{1-\alpha/2}$. Dimana $D_{1-\alpha/2}$ merupakan nilai kritis yang diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov* pada taraf signifikansi α . Misalkan, untuk $\alpha = 0,05$ maka $D_{1-\alpha/2}$ didekati dengan $\frac{1,36}{\sqrt{n}}$ (Daniel, 1989). Sedangkan apabila menggunakan output perhitungan *software* kriteria uji untuk tolak H_0 adalah $p - \text{value} < \alpha$.

Return level merupakan nilai maksimum yang diharapkan akan melampaui satu kali dalam jangka waktu tertentu. Penentuan return level pada GPD melibatkan bentuk parameter bentuk (ξ), parameter skala (σ), dan nilai threshold (u). Return Level biasanya dinyatakan dalam satuan waktu tahunan untuk berbagai keperluan. Sehingga nilai return level pada m pengamatan dengan $\sigma > 0$ δ_u yaitu sebagai berikut:

$$x_m = \begin{cases} u + \frac{\hat{\sigma}}{\xi} \left((m\delta_u)^\xi - 1 \right) & \xi \neq 0 \\ u + \hat{\sigma} \log(m\delta_u) & \xi = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Keterangan:

x_m : Nilai return level.

m : *Return period* dalam satuan waktu.

$\hat{\delta}_u$: Konstanta yang ditaksir dengan $\frac{n}{N}$.

n : Ukuran sampel/banyaknya data ekstrim.

N : Ukuran data/banyaknya data awal.

Ekstraksi fitur atau *Feature Extraction* merupakan suatu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan lebih banyak informasi dari sinyal, terdapat beberapa macam ekstraksi fitur diantaranya adalah *time domain features* (Rahayuningsih, 2018). Keuntungan menggunakan *time domain* adalah karena lebih cepat untuk dikalkulasi serta membutuhkan transformasi matematis. Terdapat banyak fitur yang digunakan pada *time domain* salah satunya adalah dengan menggunakan *Root Mean Square* (RMS) atau akar kuadrat rata-rata nilai RMS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N_{bearing}} \sum_{i=1}^{N_{bearing}} x_i^2} \quad (15)$$

Keterangan:

RMS : Nilai fitur ekstraksi dengan metode *Root Mean Square*.

$N_{bearing}$: Ukuran data *bearing* sebelum diekstraksi.

x_i : Data x ke- i , dimana $i = 1, 2, \dots, N_{bearing}$.

Sebelum analisis dilakukan tentunya perlu diketahui variabel yang jadi bahan dalam melakukan analisis, pada penelitian ini digunakan akselerasi vibrasi *bearing*. *Bearing* adalah komponen yang memegang peran penting untuk proses kerja pada mesin selain itu fungsi dari *bearing* adalah untuk menyangga poros agar tidak mengalami gesekan atau guncangan yang berlebihan pada saat berputar. Akbar (2019) mengemukakan tentang bagaimana prinsip kerja pada *bearing* sebagai berikut:

“Apabila ada dua buah logam yang bersinggungan satu dengan lainnya saling bergeseran maka akan timbul gesekan, panas dan keausan. Untuk itu pada kedua benda diberi suatu lapisan yang dapat mengurangi gesekan, panas dan keausan serta untuk memperbaiki kinerjanya ditambahkan pelumasan sehingga kontak langsung antara dua benda tersebut dapat dihindari”.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan Ekstraksi Data dengan RMS

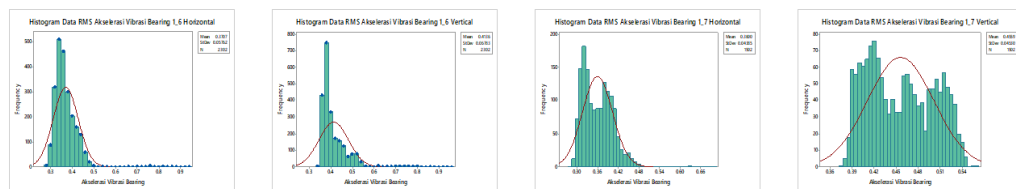
Pada penelitian ini menggunakan data akselerasi vibrasi *bearing* 1_6 dan *bearing* 1_7 arah *horizontal* dan *vertical* data yang digunakan merupakan hasil ekstraksi fitur dengan *Root Mean Square* (RMS) yang diperoleh dengan bantuan *software* Matlab dengan persamaan (15). Berikut ini adalah tabel hasil fitur ekstraksi pada *bearing* 1_6 dan *bearing* 17.

Tabel 1. Ekstraksi Fitur Menggunakan RMS

No	<i>Bearing</i> 1_6		No	<i>Bearing</i> 1_7	
	<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>		<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>
1	0.9334	0.9636	1	0.7023	0.5597
2	0.8740	0.8604	2	0.6329	0.5568
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2803	0.2806	0.3328	1502	0.2820	0.3765

Eksplorasi Data

Setelah mendapatkan nilai RMS untuk setiap *bearing* kemudian dilakukan identifikasi bentuk distribusi menggunakan histogram untuk mengetahui apakah data terindikasi terdapat nilai ekstrim.



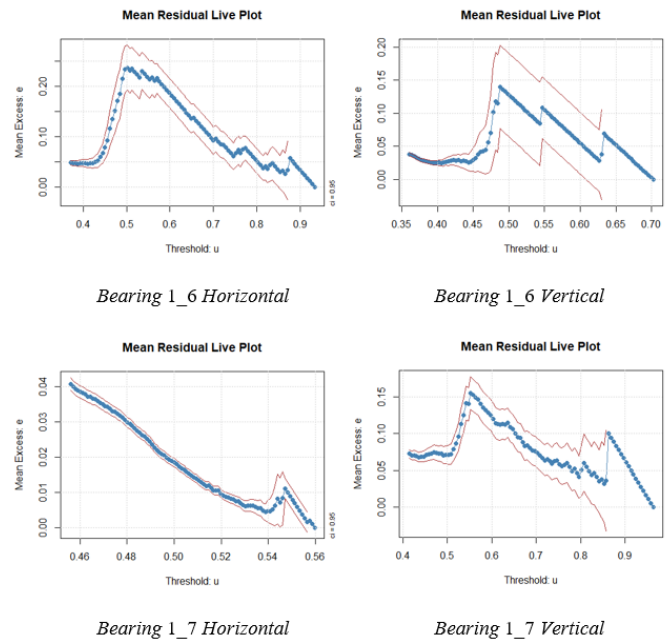
Gambar 1. Histogram Data RMS Akselerasi Vibrasi *Bearing*

Berdasarkan histogram-histogram di atas yang memperlihatkan sebaran data lebih condong ke kanan serta data menurun secara perlahan ke kanan dapat diindikasikan bahwa data tidak berdistribusi normal karena sebaran tidak simetris.

Sehingga jika dilihat berdasarkan histogram tersebut dapat mengidentifikasi terdapat data yang ekstrim.

Identifikasi Nilai *Threshold*

Penentuan nilai ambang batas atau *threshold* dengan menggunakan MRLP yaitu dengan melihat titik-titik yang dianggap konsisten setelah terjadi lonjakan atau mengalami penurunan secara linear disekitaran angka tertentu akan tetapi metode MRLP ini memiliki kelemahan karena penentuan nilai *threshold* didapatkan secara subjektif. Berikut ini MRLP untuk *bearing* 1_6 dan *bearing* 1_7 arah *horizontal* dan *vertical*



Gambar 2. Mean Residual Life Plot (MRLP)

Penggunaan metode MRLP untuk penentuan *threshold* memerlukan pengalaman dan keahlian, sedangkan penentuan nilai *threshold* dengan metode persentase lebih praktis dan lebih mudah diterapkan dibandingkan dengan metode MRLP. Berikut identifikasi nilai *threshold* dengan metode persentase:

Tabel 2. Nilai *Threshold (u)* untuk Setiap *Bearing*

	<i>N</i>	<i>n</i>	<i>u</i>
<i>Bearing 1_6 Horizontal</i>	2302	230	0.4315
<i>Bearing 1_6 Vertical</i>	2302	230	0.4978
<i>Bearing 1_7 Horizontal</i>	1502	150	0.4135
<i>Bearing 1_7 Vertical</i>	1502	150	0.4978

Estimasi Parameter

Setelah diperoleh *threshold* untuk masing-masing *bearing*, kemudian dilakukan penghitungan estimasi parameter menggunakan metode estimasi *Probability Weighted Moment* (PWM). Berikut merupakan hasil estimasi parameter distribusi *Generalized Pareto Distribution* (GPD) dengan metode estimasi *Probability Weighted Moment* (PWM).

Tabel 3. Estimasi Parameter *Generalized Pareto Distribution* (GPD)

	Parameter Skala $\hat{\sigma}$	Parameter Bentuk $\hat{\xi}$
--	--------------------------------	------------------------------

Bearing 1_6 Horizontal	0.0216	0.5800
Bearing 1_6 Vertical	0.0449	0.3697
Bearing 1_7 Horizontal	0.0246	0.1078
Bearing 1_7 Vertical	0.0149	-0.5008

Uji Kecocokan Distribusi

Setelah didapat nilai parameter skala dan bentuk maka selanjutnya dilakukan uji kecocokan distribusi menggunakan *Kolmogorov-Smirnov* sebagai metodenya. Hipotesis untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

$H_0: F_n(x) = F_0(x)$; data mengikuti distribusi teoritis (GPD)

$H_1: F_n(x) \neq F_0(x)$; data tidak mengikuti distribusi teoritis (GPD)

Berikut ini merupakan hasil pengujian kecocokan distribusi dengan menggunakan *software* MATLAB 2014a:

Tabel 4. Uji Kecocokan Distribusi

Bearing	<i>P – Value</i>	Keputusan
Bearing 1_6 Horizontal	0.1144	Terima H_0
Bearing 1_6 Vertical	6.2478e-04	Tolak H_0
Bearing 1_7 Horizontal	0.5317	Terima H_0
Bearing 1_7 Vertical	0.6211	Terima H_0

Menunjukkan bahwa pada *bearing* 1_6 arah *horizontal* data berdistribusi GPD karena nilai *p – value* (0.1144) > α (0.05) untuk *bearing* 1_6 arah *vertical* nilai *p – value* lebih besar dibandingkan dengan nilai α maka data pada *bearing* ini berdistribusi GPD, sedangkan pada *bearing* 1_7 arah *horizontal* dan *vertical* nilai nilai *p – value* lebih besar dibandingkan dengan nilai α maka data berdistribusi GPD.

Return Period

Berdasarkan hasil uji kecocokan distribusi di atas dapat disimpulkan bahwa data RMS akselerasi vibrasi *bearing* yang data ekstrimnya mengikuti distribusi *Generalized Pareto Distribution* (GPD) adalah *bearing* 1_6 arah *horizontal* dan *bearing* 1_7 arah *horizontal*. Setelah didapat sebaran data yang berdistribusi GPD dengan metode *Probability Weighted Moment* (PWM) maka dapat dilakukan prediksi untuk *return period* dan *return level* dengan menggunakan persamaan (14) yang dituangkan dalam tabel 5

Tabel 5. Return Period dan Return Level

Return Period	Return Level	
	Bearing 1_6 Horizontal	Bearing 1_7 Horizontal
1 bulan	13.9061	0.8677

2 bulan	20.5925	0.9207
3 bulan	25.9475	0.9535
4 bulan	30.5875	0.9777
5 bulan	34.7594	0.9970
6 bulan	38.5925	1.0131
12 bulan	57.4948	1.0773
16 bulan	67.8633	1.1054
20 bulan	77.1856	1.1278
24 bulan	85.7510	1.1465
30 bulan	97.5448	1.1699
36 bulan	108.3810	1.1895

Pada tabel 5 di atas dapat dilihat bahwa *bearing 1_6 horizontal* lebih besar nilai *return level*-nya jika dibandingkan dengan *bearing 1_7 horizontal* yang menghasilkan prediksi akselerasi vibrasi lebih kecil. Menurut (Tayade, 2019) masa manfaat *bearing* dianggap akan berakhir ketika vibrasinya mencapai 20. Berdasarkan teori tersebut maka mesin yang menggunakan *bearing 1_6 horizontal* akan berhenti beroperasi setelah 2 bulan kurang, sedangkan mesin yang menggunakan *bearing 1_7 horizontal* dapat lebih lama digunakan seperti pada tabel 4.6 yang menyebutkan bahwa dengan *return period* 3 tahun penggunaan *bearing 1_7 horizontal* nilai *return level*-nya hanya 1.1895 masih jauh untuk mendekati 20.

4. Kesimpulan

Estimasi parameter GPD yang diperoleh dengan metode PWM adalah $\hat{\xi}$ dan $\hat{\sigma}$ [0.5800,0.0216] untuk *bearing 1_6 horizontal* dan [0.1078,0.0246] untuk *bearing 1_7 horizontal*.

Perhitungan *return period* dan *return level* pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sisa usia pakai untuk *bearing 1_6 horizontal* adalah 2 bulan dan untuk *bearing 1_7 horizontal* lebih dari 3 tahun.

5. Saran

1. Mengestimasi parameter *Generalized Pareto Distribution* (GPD) disarankan menggunakan metode lain selain *Probability weighted Moment* (PWM) seperti *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dan *L-moments*.
2. Penggunaan metode *Extreme Value Theory* (EVT) dalam bidang teknik mesin seperti pemantauan proses keausan bantalan pada kereta yang bergesekan dengan rel kereta api sehingga kerusakan dapat diketahui kapan akan terjadi, yang diharapkan dapat menurunkan angka kecelakaan transportasi kereta api.

Daftar Pustaka

- [1] Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. London: Springer-Verlag.
- [2] Gilli, M., Kellezi, E. (2003). *An Application of Extreme Value Theory for Measuring Risk*.

Elsevier Science.

- [3] Irfan, Muhammad. (2011). *Sebaran Pareto Terampat untuk Menentukan Curah Hujan Ekstrim*. Departemen Statistika IPB.
- [4] Purwakinanti, Rengganis. (2014). Aplikasi Metode Moment Probabilittas Terboboti untuk Estimasi Parameter Distribusi Pareto Terampat pada Data Curah Hujan. *Jurnal Gaussian*. **3**(4). 821-830.
- [5] Rahayuningsih, Ifut. Dkk. (2018). Klasifikasi Bahasa Isyarat Indonesia Berbasis EMG Menggunakan Fitur Time Domain (MAV, RMS, VAR, SSI). *Jurnal Teknik ITS*, **7**(1), 2337-3520.
- [6] Suga, Kyokatsu dan Sularso. (2004). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.