

Analisis Survival pada Tungsten dan Degradasi *Bearing* Menggunakan Regresi Weibull

Gimma Sefira Alamsyah*, Sutawanir Darwis

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

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

Abstract. Many products are needed by humans in various industries that's why the selection of materials must be in accordance with the needs because it will affect the quality of the machine. Tungsten carbide is one of the working materials used because of its strong. Bearing is one of the results of the manufacture of tungsten carbide material that acts as a support for a shaft so that it always rotates without friction. Survival analysis will be used to determine the resistance of a machine's strength. The Weibull distribution has a small functional sample size for failure accuracy. We will discuss the application of Weibull regression with the Maximum Likelihood Estimation (MLE) as parameter estimates. This study uses data from the University of Durham, by Braiden, Green and Wright (1982) from experimental results of the stress level test of tungsten carbide cobalt alloy which produces data on stress rates and failure stresses. Tests on 5 different stress rates against twelve observations and it is proven that the stress rate has a significant effect on failure stresses. Then the next data is bearing vibration data from Prognostics and Health Management, FEMTO ST-Institute which consists of 17 bearings with horizontal and vertical directions so that in total there are 34 observations. With time to failure data as the dependent variable and speed and load as independent variables. The result is that only variable speed has a significant effect on time to failure.

Keywords: *Bearing, Maximum Likelihood Estimation (MLE), Regresi Weibull, Survival, Tungsten Karbida.*

Abstrak. Banyak produk yang dibutuhkan manusia di berbagai industri itulah mengapa pemilihan bahan harus sesuai dengan kebutuhan karena akan mempengaruhi kualitas mesin. Tungsten karbida merupakan salah satu material kerja yang digunakan karena sifatnya yang kuat. Bearing adalah salah satu hasil pembuatan material tungsten karbida yang berperan sebagai tumpuan sebuah poros agar selalu berputar tanpa adanya gesekan. Akan digunakan analisis survival untuk mengetahui ketahanan kekuatan suatu mesin. Distribusi weibull memiliki bentuk fungsional sampel yang kecil untuk keakuratan kegagalan. Akan dibahas penerapan regresi weibull dengan metode Maximum Likelihood Estimation (MLE) sebagai taksiran parameter. Penelitian ini menggunakan data sekunder University of Durham, oleh Braiden, Green and Wright (1982) hasil eksperimen uji tingkat tekanan paduan tungsten karbida kobalt alloy yang menghasilkan data stress rates dan failure stresses. Pengujian pada 5 stress rates berbeda terhadap dua belas observasi dan terbukti bahwa stress rate berpengaruh secara signifikan terhadap failure stresses. Lalu data selanjutnya adalah data vibrasi bearing dari Prognostics and Health Management, FEMTO ST-Institute yang terdiri dari 17 bearing dengan arah horizontal dan vertikal sehingga ditotal ada 34 observasi. Dengan data time to failure sebagai variabel dependen serta speed dan load sebagai variabel independent. Dihasilkan bahwa hanya variabel speed berpengaruh secara signifikan terhadap time to failure.

Kata Kunci: *Bearing, Maximum Likelihood Estimation (MLE), Regresi Weibull, Survival, Tungsten Karbida..*

A. Pendahuluan

Banyak sekali produk yang dibutuhkan manusia di berbagai industri itulah mengapa pemilihan bahan harus yang sesuai dengan kebutuhan. *Tungsten karbida* merupakan senyawa kimia anorganik dan salah satu material kerja yang bisa digunakan. *Bearing* adalah salah satu hasil pembuatan material *tungsten karbida* sebagai tumpuan sebuah poros mesin agar selalu berputar tanpa adanya vibrasi. Ketahanan kekuatan suatu mesin sangat diperlukan untuk memantau kondisi mesin di masa mendatang maka akan digunakan analisis survival menggunakan metode regresi weibull dan MLE.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana penerapan model regresi Weibull pada *tungsten carbide alloy* dan *vibrasi bearing*?”. Selanjutnya, tujuan penelitian adalah sbb :

1. Mengetahui pengaruh stress rate terhadap failure stresses untuk kekuatan *tungsten karbida*.
2. Mengetahui pengaruh speed dan load terhadap kekuatan eksperimen vibrasi *bearing*.

B. Metodologi Penelitian

Data penelitian menggunakan data sekunder dari *University of Durham*, oleh Braiden, Green and Wright (1982) hasil eksperimen uji tingkat tekanan paduan *tungsten karbida kobalt alloy* dengan 5 stress rate berbeda yaitu $0,1 \text{ Mn m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $1 \text{ Mn m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $10 \text{ Mn m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $100 \text{ Mn m}^{-2}\text{s}^{-1}$, dan $1000 \text{ Mn m}^{-2}\text{s}^{-1}$ disetiap dua belas observasi yang menghasilkan data *stress rates* dan *failure stresses*. Lalu data yang kedua adalah eksperimen dari IEEE, *FEMTO-ST Institute* yang menghasilkan data *run to failure* vibrasi *bearing* tersebut. Sinyal getaran dikumpulkan setiap 10 detik dengan batas data sampling sebesar 2560 sampel dan frekuensi getaran sebesar 25,6 kHz. Data vibrasi yang digunakan terdiri dari 17 *bearing* dua arah yaitu arah horizontal dan vertikal dengan total 34 *bearing*, yang kemudian akan dibagi dalam 3 data set dengan kondisi operasi *bearing* yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan 3 kondisi operasi *bearing* yang berbeda. Pada kondisi *bearing* pada data set 1 memiliki kecepatan sebesar 1800 rpm dengan beban *bearing* 4000 N, kondisi *bearing* pada data set 2 memiliki kecepatan sebesar 1650 rpm dengan beban *bearing* 4200 N, dan kondisi *bearing* pada data set 3 memiliki kecepatan sebesar 1500 rpm dengan beban *bearing* 5000 N.

Metode pengolahan data dalam penelitian ini adalah regresi weibull dimodelkan menggunakan (AFT) dan *Proportional Hazard* (PH) yang ditaksir menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), sebagai berikut:

1. Acceleration Failure Time (AFT)
 $\ln \lambda = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p$
 Dimana,
 $\ln \lambda$: Ekuivalen,
 x_1, x_2, \dots, x_p : Prediktor,
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: Koefisien regresi.

2. Proportional Hazard (PH)
 $\lambda = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)$
 Dimana :
 λ : Ekuivalen,
 pt^{p-1} : Fungsi baseline hazard,
 x_1, x_2, \dots, x_p : Prediktor,
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: Koefisien regresi.

Uji signifikansi parameter dikenal dengan uji rasio likelihood, digunakan untuk mengetahui apakah kovariat berpengaruh secara signifikan atau tidak.

1. Uji Simultan (keseluruhan/serentak)
 Hipotesis : $H_0 : \beta_i = \dots = \beta_p = 0$, vs $H_1 : \text{minimal satu } \beta_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, p$
 Statistik Uji : $G = -2[\ln L(0) - \ln L(\beta_k)]$
 dengan,
 $L(0)$: Log Partial Likelihood dari model tanpa variabel bebas.

$L(\beta_k)$: Log Partial Likelihood dari model yang terdiri dari p variabel; p adalah banyaknya variabel bebas.

Kriteria uji : Tolak H_0 jika $G \geq \chi_{ab=p;\alpha}^2$ atau p-value $< \alpha$

2. Uji Parsial (masing-masing kovariat)

Hipotesis : $H_0 : \beta_i = 0$, vs $H_1 : \beta_i \neq 0$

Statistik uji : $\chi_W^2 = \left[\frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)} \right]^2$

dengan,

$\hat{\beta}_j$: Koefisien penduga parameter

$SE(\hat{\beta}_j)$: Standar error penduga parameter

Kriteria uji : Tolak H_0 jika $\chi_W^2 \geq \chi_{1,\alpha}^2$ atau p-value $< \alpha$

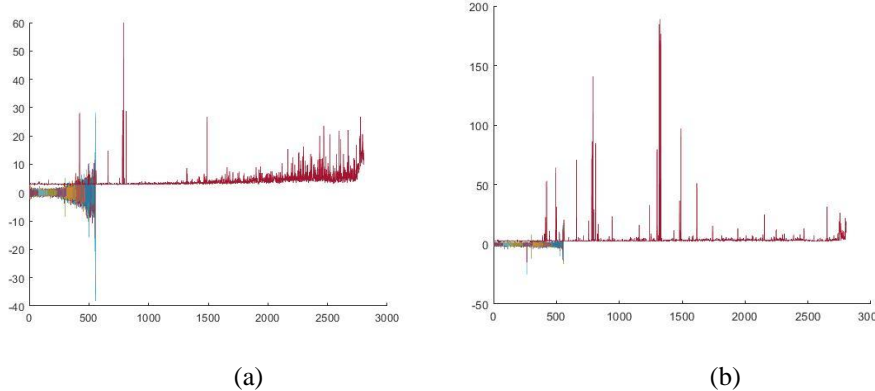
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab, R Studio, Excel. dan Stata. Adapun prosedur dan teknis pengolahan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter regresi weibull menggunakan *Maximum Likelihood Estimation (MLE)*.
2. Membuat model regresi weibull pada paduan *tungsten karbida* dan vibrasi *bearing FEMTO*.
3. Pengujian signifikansi parameter sebagai penentu kovariat mana yang berpengaruh secara signifikan pada tiap eksperimen.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Regresi Weibull Kurtosis dan Threshold Menggunakan MLE.

Data vibrasi *bearing* diubah menjadi fitur kurtosis. Hasil pengujian dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 1. Plot Kurtosis *Bearing1_1* Arah Horizontal (a) dan Arah Vertikal (b)

Gambar 1 menjelaskan plot kurtosis untuk Data Set 1. Arah horizontal menunjukkan kenaikan di akhir vibrasi bearing fitur kurtosis, yang berarti adanya indikasi kerusakan pada akhir vibrasi. Dan arah vertikal menunjukkan pola naik di beberapa titik yang berarti adanya indikasi kerusakan, namun di akhir vibrasi *bearing* kembali normal.

Kurtosis merupakan derajat keruncingan suatu distribusi (perbandingan distribusi normal). Dari tabel di atas diketahui nilai kurtosis vibrasi *bearing* sebagai peninjau getaran *bearing* sebagai indikator kerusakan. *Threshold* atau batas ambang dan akan dihasilkan pula nilai *measurement point* sebagai deteksi kerusakan pertama.

Tabel 1. Kurtosis Data Vibrasi *Bearing*

No	<i>Bearing</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>TTF</i>	<i>Measure points</i>	<i>Measure points (diurutkan)</i>
1	1_1 Hor	5,5500 +	2049	20490 +	20
2	1_2 Hor	7,1790	25	250	40 +
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
33	3_2 Ver	6,9047 +	1638	16380 +	22930 +
34	3_3 Ver	4,9516	65	650	23030 +

Model Regresi Weibull dan Pengujian Signifikansi Parameter

Pengujian signifikansi parameter untuk kedua data adalah sebagai berikut :

1. Tungsten Karbida

_t	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
stress	.9985083	.0003746	-3.98	0.000	.9977744	.9992428
_cons	3.881932	2.82e-31	-9.94	0.000	2.47e-38	6.09e-26
/ln_p	2.216531	.1000461	22.16	0.000	2.020444	2.412618
p	9.175447	.9179681			7.541675	11.16315
1/p	.1089865	.0109037			.0895805	.1325965

Model regresi Weibull PH untuk data *tungsten karbida* adalah $\lambda = 3.881932 + 0.99851 x$ maka nilai stress rate (X) lebih besar memiliki peluang waktu kegagalan lebih cepat sebesar 0.99851 dibandingkan dengan nilai stress rate yang lebih kecil.

Uji signifikansi parameter berdasarkan output, terlihat bahwa variabel kovariat memiliki pengaruh yang signifikan secara keseluruhan. Untuk uji parsial dapat dilihat nilai p-value pada masing-masing kovariat adalah $0,000 < 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak Dengan demikian dapat diartikan bahwa variabel stress rate berpengaruh terhadap failiure stress *tungsten karbida*.

2. Bearing

_t	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
speed	-.0084537	.0055969	-1.51	0.013	-.0194235	.0025161
load	-.0009679	.0017065	-0.57	0.057	-.0043126	.0023767
_cons	-1.790022	16.4121	-0.11	0.913	-33.95715	30.37711
/ln_p	.7365596	.1958447	3.76	0.000	.3527111	1.120408
p	2.088737	.409068			1.42292	3.066105
1/p	.4787582	.0937622			.3261467	.7027802

Model regresi Weibull AFT untuk data *bearing* adalah $\ln \lambda = -1,79002 - 0,00097x_1 - 0,00845x_2$ maka untuk koefisien X1 (speed) dan X2 (load) bearing yang memiliki nilai speed dan load lebih besar memiliki peluang waktu kegagalan lebih cepat sebesar

0,00097 dan 0,00845 dibandingkan dengan bearing yang memiliki nilai speed dan load lebih kecil.

_t	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
speed	.0040473	.0026737	1.51	0.013	-.0011931	.0092877
load	.0004634	.0008196	0.57	0.057	-.0011431	.0020699
_cons	.856988	7.834908	0.11	0.913	-14.49915	16.21313
/ln_p	.7365596	.1958447	3.76	0.000	.3527111	1.120408
P	2.088737	.409068			1.42292	3.066105
1/p	.4787582	.0937622			.3261467	.7027802

Model regresi Weibull AFT untuk data *bearing* adalah $\lambda = 0,85699 + 0,00046x_1 + 0,00405x_2$ maka untuk koefisien X1 (speed) dan X2 (load) bearing yang memiliki nilai speed dan load lebih besar memiliki peluang waktu kegagalan lebih cepat sebesar 0,00046 dan 0,00405 dibandingkan dengan bearing yang memiliki nilai speed dan load lebih kecil.

Uji signifikansi parameter berdasarkan output, terlihat bahwa variabel kovariat memiliki pengaruh yang signifikan secara keseluruhan. Untuk uji parsial dapat dilihat nilai p-value pada speed (X1) adalah $0,013 < 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan nilai p-value untuk load (X2) adalah $0,057 > 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dengan demikian dapat diartikan bahwa variabel speed berpengaruh terhadap variabel time to failure (Y) namun untuk variabel load tidak berpengaruh secara signifikan terhadap time to failure.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sebagai berikut:

1. Menggunakan regresi weibull untuk data *tungsten karbida* dihasilkan bahwa secara keseluruhan model signifikan dan terbukti ada pengaruh antara variabel X (stress rate) terhadap Y (Failure stresses).
2. Untuk data *bearing*, dihasilkan bahwa secara keseluruhan model signifikan namun tidak seluruh variabel bebas memiliki pengaruh terhadap variabel tak bebas. Artinya hanya variabel X1 (speed) yang berpengaruh terhadap Y (time to failure).

Acknowledge

Alhamdulillah, thanks to Allah SWT and thank you for all the support, especially for my family and friends. And for all the knowledge that has been given by my beloved lecturers. I hope that all of your kindness will be better rewarded all the good.

Daftar Pustaka

- [1] Ansarikimia,. (2014). Tungsten Karbida dan Aplikasinya Dalam Industri. Retrieved from <https://wawasanilmukimia.wordpress.com/>
- [2] Da, Yuan, Baoji,. (2018) Di Bidang Apa Tungsten Digunakan?. Retrieved from <http://id.refractory-metal.com/info/what-field-is-tungsten-used-in-31415228.html>
- [3] Dahlan, M. (2012). Seri 11 Analisis Survival: Dasar – Dasar Teori dan Aplikasi Dengan Program SPSS. Jakarta : Epidemiologi Indonesia
- [4] Green, P.,J. (1984). Iteratively Reweighted Least Squares for Maximum Likelihood Estimation, and some Robust and Resistant Alternative. UK : University of Durham.
- [5] Hendriawan, Agil. (2020). Perkiraan Kerusakan Bearing Menggunakan Metode Relevance Vector Regression. Bandung : Universitas Islam Bandung
- [6] Jamhuri, M. (2015). Klasifikasi Tembaga Tungsten. Retrieved from <http://www.tungsten-copper.com/india/tungsten-copper-classification.html>
- [7] Khumaedi, Muhammad. (2015) Reliabilitas Instrumen Penelitian Pendidikan..
- [8] Kleinbaum D G, Klein M. (2012). Survival Analysis: A Self-Learning Text, 3rd Edition,

Springer.

- [9] Kundu P, Darpe A K, Kulkarni M S. (2019). Weibull Accelerated Failure Time Regression Model for Remaining Useful Life Prediction of Bearing Working Under Multiple Operating Conditions.
- [10] Liu, X. (2012). Survival Analysis Models and Applications. John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom.
- [11] Nurul, Imani. (2018). Implementasi Model Regresi Weibull Terhadap Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Perbaikan Kondisi Klinis Penderita Stroke. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
- [12] Sudjana, M.A. (2005). Metode Statistika. Bandung: PT. Tarsito Bandung.
- [13] Syifa Amanda, Ervieta (2020). Penerapan Deteksi Outlier Regresi Cox Vibrasi Bearing. Bandung : Universitas Islam Bandung.
- [14] Thamrin, Sri, Astuti., Azhar., dan Jaya, Andi, Kresna. (2018). Penaksiran Parameter Distribusi Weibull dengan Metode Bayesian Survival dan Maksimum Likelihood
- [15] Widiarti., Maidiyanti, Ayu., dan Warsono. (2016). Simulasi Intensitas Sensor Dalam Pendugaan Parameter Distribusi Weibull Tersensor Kiri.