

Perkiraan Kerusakan *Bearing* Menggunakan Metode *Relevance Vector Regression*

Agil Hendriawan*, Sutawanir Darwis

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

*agil_hendriawan@yahoo.com, std.darwis@gmail.com

Abstract. There are some methods to predict probability such as Survival Analysis and Regression Analysis. Survival Analysis with Kaplan-Meier Estimator is used to predict Hazard Survival Function. Relevance Vector Regression is selected as a method that is used to predict failure degradation bearing. Bearing is a part of a machine that supports an axis that has weight, so the rotation is smooth, safe, and durable. From the experiment result, will produce time to failure data, kurtosis, and failure degradation bearing probability. Bearing vibration as a sample being noticed until failed, in this case considered defective if kurtosis greater than the 40 threshold. Prediction from Relevance Vector Regression obtained by analyzing time to failure data and kurtosis that obtained from bearing vibration with failure degradation bearing probability. To obtain the best result, in this experiment by comparing RMSE value between Linear Regression Analysis and Relevance Vector Regression. Data that was used in this experiment is secondary data that was obtained from NASA's site. Monitoring conditions from machine health or industrial components and systems that can detect, classify, and predict failure in the future are very important in reducing operational and maintaining cost. Based on the experiment result, obtained that Relevance Vector Regression is a better method compared to simple regression analysis because of lower RMSE value.

Keywords: Time to Failure, Kurtosis, Kaplan-Meier, Relevance Vector Regression.

Abstrak. Terdapat beberapa metode untuk memperkirakan peluang seperti analisis survival dan analisis regresi. Analisis survival dengan metode Estimator Kaplan-Meier digunakan untuk memperkirakan fungsi hazard survival. Relevance Vector Regression dipilih sebagai metode yang digunakan untuk memperkirakan kerusakan bearing. Bearing adalah bagian mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putarannya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur yang panjang. Dari hasil percobaan, akan menghasilkan data waktu kegagalan, kurtosis, dan peluang kerusakan bearing. Bearing sebagai sampel diperhatikan vibrasinya hingga mengalami kerusakan, dalam hal ini dianggap rusak ketika kurtosis melewati ambang batas 40. Perkiraan dari Relevance Vector Regression didapat dengan menganalisis data waktu kegagalan dan kurtosis yang diperoleh dari vibrasi bearing dengan peluang kerusakan bearing. Untuk mendapatkan hasil yang terbaik, yang mana dalam penelitian ini dengan membandingkan nilai RMSE antara analisis regresi linier dengan Relevance Vector Regression. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari situs NASA. Pemantauan kondisi dari kesehatan mesin atau komponen industri dan sistem yang dapat mendeteksi, mengklasifikasikan, dan memperkirakan kerusakan yang akan datang sangat penting dalam mengurangi biaya operasi dan

pemeliharaan. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa Relevance Vector Regression merupakan metode yang lebih baik dibandingkan analisis regresi sederhana karena nilai RMSE yang lebih rendah.

Kata Kunci: Waktu Kegagalan, Kurtosis, Kaplan-Meier, *Relevance Vector Regression*.

1. Pendahuluan

Terdapat beberapa metode untuk memperkirakan peluang seperti, analisis survival dan analisis regresi. Keuntungan dari analisis survival yaitu peristiwa dapat dipelajari dari waktu ke waktu, waktu dan kejadian peristiwa dapat dipelajari, objek penelitian tidak perlu dipelajari pada waktu yang sama atau memiliki durasi yang sama, dan objek penelitian yang hilang masih dapat berkontribusi untuk penelitian ini.

Berbagai penelitian telah banyak dilakukan dengan menerapkan metode *Support Vector Regression* (SVR) untuk menyelesaikan kasus prediksi dengan akurasi tinggi. SVR didasarkan pada pengembangan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan klasifikasi dua kelas berbeda.

Menurut Tipping (2001), SVM memiliki beberapa kelemahan. Salah satu dari kelemahan tersebut antara lain proses prediksinya yang tidak bersifat probabilistik yang dapat mengurangi tingkat akurasi dari klasifikasi. Oleh karena itu dibuatlah sebuah metode klasifikasi dan regresi yang dapat mengatasi kekurangan-kekurangan yang dimiliki oleh SVM. Metode tersebut adalah *Relevance Vector Machine* (RVM).

RVM adalah sebuah metode pembelajaran mesin yang diadaptasi dari *Bayesian Framework* dan memiliki bentuk model fungsi yang mirip dengan SVM. RVM baru-baru ini menarik banyak minat dalam komunitas riset karena memberikan sejumlah keunggulan. Dari hasil berbagai penelitian dan perbandingan yang dilakukan menunjukkan bahwa RVM dalam melakukan regresi dan klasifikasi memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dengan waktu komputasi lebih cepat dari SVM, yang ditunjukkan dengan jumlah *relevant vector* (RV) yang dihasilkan lebih sedikit.

Prognostik telah muncul sebagai alternatif untuk prediksi keandalan tradisional, *run to failure*, dan pemeliharaan terjadwal. Ini juga merupakan aspek penting dari komponen mesin atau sistem pengawasan peralatan. Sistem ini telah dikembangkan melalui beberapa modul yang menggunakan perangkat yang terkait dengan akuisisi data dan melakukan pemantauan kondisi, diagnostik kesalahan dan prognostik. Ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari aplikasi prognostik seperti mengurangi waktu henti produksi, persediaan suku cadang, biaya pemeliharaan dan bahaya keamanan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Kapan waktu kegagalan dari data eksperimen vibrasi bearing?
2. Bagaimana model fungsi hazard kerusakan bearing $h(t)$ terhadap waktu kegagalan dan kurtosis?
3. Bagaimana perkiraan fungsi hazard kerusakan bearing $h(t)$ menggunakan metode *Relevance Vector Regression*?

Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sebagai berikut:

1. Mengetahui waktu kegagalan dari data eksperimen vibrasi bearing.
2. Mendapatkan fungsi hazard kerusakan bearing $h(t)$ terhadap waktu kegagalan dan kurtosis.
3. Memperkirakan fungsi hazard kerusakan bearing $h(t)$ dengan metode *Relevance Vector Regression*.

2. Landasan Teori

Kurtosis adalah ukuran keruncingan dari suatu distribusi yang biasanya dibandingkan dengan distribusi normal. Dalam skripsi ini kurtosis digunakan untuk melihat getaran bearing sebagai indikator kerusakan.

Analisis survival adalah metode untuk menganalisis data mulai dari titik awal sampai titik akhir. Estimator Kaplan-Meier dikenal juga sebagai estimasi limit-produk. Jumlah penyensoran tidak diperhitungkan dalam estimator Kaplan-Meier. Untuk $t_1 \leq t_2 \leq t_n$ taksiran Kaplan-Meier bagi fungsi kegagalan bearing. Cara pertama untuk menaksir fungsi hazard pada waktu t_j adalah $h(t_j) = \frac{d_j}{n_j}$, dimana d_j : jumlah kematian pada saat t_j ($j = 1, 2, \dots, k$), n_j : jumlah individu yang masih hidup sesaat sebelum t_j (jumlah individu berisiko pada saat t_j) termasuk yang meninggal pada saat t_j dengan $S^{\wedge}(t) = 1$ untuk $t < t_1$ dan $t_{r+1} = \infty$.

Analisis regresi linier sederhana adalah hubungan secara linier antara peubah bebas (X) dengan peubah tak bebas (Y). Analisis ini digunakan untuk mengetahui arah hubungan antara peubah bebas dengan peubah tak bebas dan untuk memperkirakan nilai dari peubah tak bebas apabila nilai peubah bebas mengalami kenaikan atau penurunan. Model perkiraan regresi linier sederhana adalah: $y_i = b_0 + b_1 x_i + e_i$, dimana b_0 : konstanta, b_1 : koefisien taksiran regresi x_1 , y : taksiran peubah tak bebas, x : taksiran peubah bebas.

Relevance Vector Machine (RVM) adalah sebuah metode pembelajaran mesin yang diperkenalkan oleh Mike Tipping pada tahun 2001, yang diadaptasi dari Bayesian Framework dan memiliki bentuk model fungsi yang mirip dengan Support Vector Machine (SVM). Sama halnya dengan SVM, RVM digunakan dalam proses klasifikasi dan regresi. RVM diperkenalkan untuk menutupi beberapa kelemahan yang dimiliki oleh SVM.

Pada supervised learning, Relevance Vector Regression (RVR) adalah sekumpulan data latih yang terdiri dari himpunan vektor $\{x\}_{n=1}^N$ digunakan bersamaan dengan target yang sesuai $\{t\}_{n=1}^N$, dimana pada dasarnya target merupakan nilai sebenarnya dalam hal regresi dan label kelas pada proses klasifikasi. Tujuan dari supervised learning adalah membuat sebuah model dari target dengan masukan dari training set, sehingga prediksi yang akurat terhadap target t dapat dicapai untuk nilai x yang belum diketahui sebelumnya. Secara umum prediksi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $y(x) = \sum_1^N w_i K(x, x_i) + w_0$, dimana $w = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ adalah vektor bobot, w_0 adalah bias, dan $K(x, x_i)$ adalah fungsi kernel. Nilai $K(x, x_i)$ merupakan fungsi kernel yang menunjukkan pemetaan linier pada feature space. Nilai $K(x, x_i)$ tidak selalu bisa diekspresikan secara eksplisit sebagai kombinasi antara α , y , dan $\Phi(x)$, karena dalam banyak kasus $\Phi(x)$ tidak diketahui atau sulit dihitung.

Root Mean Square Error (RMSE) adalah metode alternatif untuk mengevaluasi teknik peramalan yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - y_t)^2}$$

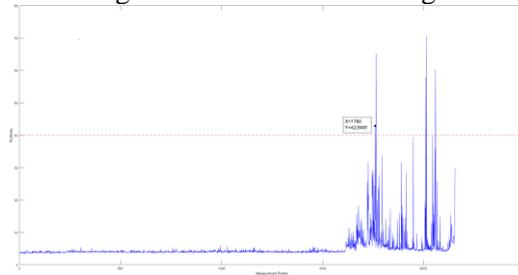
3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data eksperimen didapat dari uji *bearing* yang menghasilkan data kegagalan. Data-data ini diunduh dari *Prognostics Center of Excellence* (PcoE) melalui penyimpanan data prognostik yang disumbangkan oleh *Intelligent Maintenance System* (IMS), University of Cincinnati. Pengujian *bearing* itu terdiri dari empat *bearing* yang dipasang pada satu poros. Kecepatan rotasi poros itu dijaga konstan pada 2000 rpm dan beban radial 26,7 kN ditempatkan pada poros dan *bearing* oleh mekanisme pegas. Semua *bearing* dilumasi. *Bearing* yang digunakan adalah Rexnord ZA-115 dua baris bearing yang memiliki 16 rol di setiap baris, diameter *pitch* 71,5 mm, diameter rol 7,9 mm, dan sudut kontak meruncing 15,17°.

Sinyal getaran diperoleh dari delapan akselerometer dari PCB 353B33 yang dipasang di arah vertikal dan horizontal. Sinyal getaran dikumpulkan setiap 10 menit oleh *data acquisition card* NI-DAQ Card 6062E. Laju data sampling adalah 20 kHz dan panjang data 20480 titik. Karena data vibrasi yang didapat terlalu banyak maka data vibrasi diubah menjadi tiga data set kurtosis untuk memudahkan perhitungan dengan yang ditandai warna biru adalah kurtosis

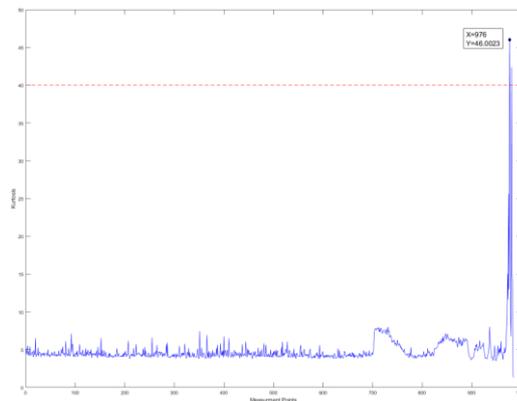
pertama yang melebihi ambang batas 40.

Kurtosis data set 1 terdiri dari 8 *bearing*, data set 2 terdiri dari 4 *bearing*, dan data set 3 terdiri dari 4 *bearing*, dengan masing-masing ambang batas 40, kemudian kurtosis setiap *bearing* yang pertama melebihi ambang batas akan diambil sebagai data waktu kegagalan.



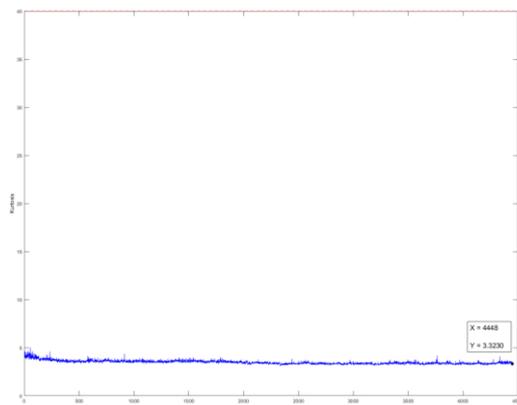
Gambar 1. Plot Kurtosis Data Set 1 untuk *bearing* 1.

Pada Gambar 1, waktu pengamatan pertama yang melewati ambang batas 40 yaitu pada waktu ke-1760, artinya waktu kegagalan untuk *bearing* 1 adalah 1760. Langkah yang sama dilakukan hingga *bearing* 8.



Gambar 2. Plot Kurtosis Data Set 2 untuk *bearing* 1.

Pada Gambar 2, waktu pengamatan pertama yang melewati ambang batas 40 yaitu pada waktu ke-976, artinya waktu kegagalan untuk *bearing* 1 adalah 976. Langkah yang sama dilakukan hingga *bearing* 4.



Gambar 3. Plot Kurtosis Data Set 3 untuk *bearing* 1.

Pada Gambar 3, tidak ada yang melewati ambang batas 40, artinya data tersensor kanan karena tidak ada *bearing* yang rusak selama waktu pengamatan. Langkah yang sama dilakukan hingga *bearing* 4. Maka diperoleh 16 data kurtosis dan data waktu kegagalan dari 3 set data yang diambil berdasarkan data kurtosis pertama yang melebihi 40 lalu ditransformasi dalam menit, jam dan hari.

Data waktu kegagalan *bearing* yang diperoleh dari langkah di atas akan dicari fungsi hazard kerusakan *bearing* $h(t)$ dengan menggunakan estimator Kaplan-Meier. Data diurutkan dari yang terendah hingga yang tertinggi setelah itu dibuat status tersensor atau tidak tersensor dengan 0 adalah tersensor dan 1 adalah tidak tersensor.

Tabel 1. Fungsi Hazard Kerusakan *Bearing*

No.	Time (t)	n_j	d_j	$h(t) = \frac{d_j}{n_j}$
1	6,77778	16	4	0,2500
2	10,1944	12	1	0,0833
3	12,1111	11	1	0,0909
4	12,1458	10	3	0,3000
5	12,1736	7	1	0,1429
6	12,2222	6	1	0,1667
7	12,2847	5	1	0,2000

Selanjutnya dilakukan analisis regresi linier sederhana dengan *Time* sebagai peubah bebas dan $h(t)$ sebagai peubah tak bebas sebanyak dua kali untuk $h(t)$ terhadap waktu kegagalan *bearing* dan $h(t)$ terhadap kurtosis. Diperoleh nilai RMSE untuk masing-masing sebesar 0,0724 dan 0,0726.

Selanjutnya dilakukan RVR dengan menggunakan fungsi kernel *Radial Basis Function* (RBF) sebanyak dua kali untuk $h(t)$ terhadap waktu kegagalan *bearing* dan $h(t)$ terhadap kurtosis. Diperoleh nilai RMSE untuk masing-masing sebesar 0,0627 dan 0,0535.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

Dilihat dari hasil yang diperoleh dengan estimator Kaplan-Meier bahwa peluang terendah suatu *bearing* akan rusak adalah 0,0833 pada hari 10,1944. Sedangkan peluang tertinggi suatu *bearing* akan rusak adalah 0,3 pada hari 12,1458.

Berdasarkan kurtosis dari data vibrasi, *bearing* dataset 1 yang diamati selama sekitar 14 hari menunjukkan adanya kerusakan setelah 10 sampai 12 hari. Untuk *bearing* dataset 2 yang diamati sekitar 6 hari menunjukkan adanya kerusakan saat mendekati waktu akhir pengamatan. Sedangkan seluruh *bearing* dataset 3 tidak ditemukan adanya kerusakan selama sekitar 30 hari pengamatan.

Dari hasil yang didapat bahwa *Relevance Vector Regression* (RVR) memberikan akurasi yang lebih baik dalam memperkirakan fungsi hazard kerusakan *bearing* terhadap waktu kegagalan dilihat dari nilai RMSE sebesar 0,0627 lebih rendah dibanding nilai RMSE pada regresi linier sederhana yaitu sebesar 0,0724.

Hasil yang sama diperoleh *Relevance Vector Regression* (RVR) untuk fungsi hazard kerusakan *bearing* terhadap kurtosis memberikan akurasi prediksi yang lebih baik dilihat dari nilai RMSE sebesar 0,0535 lebih rendah dibanding nilai RMSE pada regresi linier sederhana yaitu sebesar 0,0726.

Daftar Pustaka

- [1] Ayuningtyas, Niky. (2018). *Prediksi Failure Degradation Bearing Dengan Metode Support Vector Regression (SVR)*. Bandung: Universitas Islam Bandung.
- [2] Darwis, Sutawanir. ; Hajarisman, Nusar ; Suliadi. (2017). *Estimasi Keausan Bearing Menggunakan Failure Rate Weibull*. *Jurnal Universitas Islam Bandung*. Vol.7 No.2 259-265.
- [3] Fletcher, Tristan. (2010). *Relevance Vector Machine Explained*. London: University College London.
- [4] Hajarisman, Nusar. (2008). *Buku Panduan Praktikum : Laboratorium Statistika*. Bandung: Universitas Islam Bandung.
- [5] Harlan, Johan. (2017). *Analisis Survival*. Depok: Gunadarma.
- [6] Harris, T.A. ; Koztalas, M. N. (2007). *Rolling Bearing Analysis, Fifth Edition : Essential Concepts of Bearing Technology*. USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [7] Kim, Julia. (2012). *Survival Analysis*. *Pediatrics in Review* 33 (4), 172-174.
- [8] M.A., Sujana. (2005). *Metode Statistika*. Bandung: PT. Tarsito Bandung.
- [9] Pal, Mahesh. (2011). *Kernel Method in Remote Sensing : A Review*. Kuruksheetra: National Institute of Technology Kuruksheetra.
- [10] Putra, Arief B. E. (2017). *Implementasi Metode Relevance Vector Machine Dalam Peringkasan Teks Otomatis*. Bandung: Universitas Komputer Indonesia.
- [11] Tipping, M. E. (2000). *The relevance vector machine*. In S. Solla, T. Leen, & K. R. Muller (Eds.). *Advances in neural information processing system* (Vol. 12, pp. 287–289). Cambridge, MA: MIT Press.
- [12] Widodo, Achmad. ; Yang, Bo-Suk. (2010). *Application of Relevance Vector Machine and Survival Probability to Machine Degradation Assessment*. *Mechanical Systems and Signal Processing* 24 (4), 1161-1171.