

ANALISIS GETARAN AKIBAT KERUSAKAN PADA DOUBLE ROW BEARING MENGGUNAKAN METODE *DIGITAL SIGNAL PROSESSING (DSP)* BERBASIS *LEVEL OF ENERGY*

Qilap Tambipessy¹⁾, Jonny Latuny²⁾, Sefnath J. E. Sarwuna³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: qlaptambipessy@email.com,

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: jonny.latuny@staff.unpatti.ac.id,

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: etwansarwuna19@gmail.com,

Abstrak Kerusakan *bearing* merupakan penyebab utama kegagalan pada mesin berputar dan dapat menimbulkan kerugian besar akibat *downtime* serta biaya pemeliharaan. Sinyal getaran bearing mengandung informasi penting terkait kondisi kesehatan mesin, namun bersifat non-stasioner dan dipengaruhi noise sehingga memerlukan teknik pengolahan sinyal yang andal. Penelitian ini bertujuan menganalisis nilai energi sinyal getaran sebagai indikator kerusakan dini pada *double row bearing* menggunakan metode *Digital Signal Processing (DSP)* berbasis *level of energy*. Data yang digunakan merupakan data sekunder getaran bearing *Rexnord ZA-2115* yang diperoleh dari repositori NSF I/UCR Center on *Intelligent Maintenance Systems (IMS)*, dengan kondisi operasi kecepatan 2000 RPM dan beban 2,7 ton. Pengolahan sinyal dilakukan menggunakan GNU Octave dengan menerapkan *Wavelet Packet Decomposition* hingga level 5 sehingga diperoleh 16 sub-band energi. Nilai energi setiap sub-band dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik getaran dari kondisi normal hingga rusak. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan energi pada sub-band tertentu seiring perkembangan kerusakan bearing, bahkan sebelum kegagalan akhir terjadi. Temuan ini membuktikan bahwa metode *DSP* berbasis *level of energy* efektif untuk deteksi dini kerusakan bearing dan berpotensi diterapkan dalam sistem pemantauan kondisi mesin industri.

Kata kunci : Getaran *Bearing*, *Digital Signal Processing*, *Wavelet Packet*, *Level Of Energy*, Diagnosis Kerusakan

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi saat ini, ilmu getaran sangat berperan penting di dalamnya. Dalam sebuah bidang industri misalnya, memerlukan adanya ilmu getaran, agar dapat diketahui tingkat kerusakan suatu *Bearing* pada motor induksi. Apabila getaran yang dihasilkan melebihi batas yang diperbolehkan, maka dapat mengganggu kinerja motor dan membahayakan proses yang sedang berlangsung. Dengan adanya ilmu getaran yang mempelajari mengenai kerusakan suatu peralatan, maka dari itu dapat diminimalisir atau bahkan diatasi. (Setiono *et al.*, 2020). Getaran adalah gerak bolak balik atau gerak osilasi suatu benda yang mempunyai massa dan mempunyai elastisitas seperti sistem pegas massa. Getaran terjadi akibat gerak karena adanya perbedaan tekanan dan frekuensi.

Dalam *DSP*, sinyal non-stasioner seperti getaran *bearing* yang mengandung impuls bersifat sementara dan muncul tak terduga memerlukan analisis waktu-frekuensi (*time-frequency analysis*). Teknik seperti *Short-Time Fourier Transform (STFT)*, *Continuous Wavelet Transform (CWT)*, *Hilbert-Huang Transform (HHT)*, dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* telah banyak digunakan. Salah satu kelemahan *STFT* adalah adanya *trade-off* tetap

antara resolusi waktu dan frekuensi, sedangkan *HHT* sering menghadapi masalah mode-mixing dan efek pinggir (*end effects*) (Gougam *et al.*, 2020). Penelitian ini tidak menggunakan data primer dari eksperimen langsung, melainkan menggunakan data sekunder yang bersumber dari *NSF I/UCR on Center Intelligent Maintenance System (IMS) dan Rexnord Corp.* yang berlokasi di *Milwaukee, USA*. Tipe bearing yang digunakan dalam data ini adalah *rexnord ZA-2115 double row bearing* dengan beban Maximum 26,7 kN dan kecepatan putar sebesar 2000 *RPM*.

2. METODE

Data sinyal getaran *bearing* yang digunakan dalam penulisan ini disediakan oleh *NSF I/UCR Center on Intelligent Maintenance Systems (IMS)* dengan dukungan dari *Rexnord Corp.* di *Milwaukee, WI* di Amerika Serikat. Lokasi pengolahan pada Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon.

A. Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas pada penelitian ini Adalah jumlah data sinyal getaran (1-984).
- b. Variabel terikat pada penelitian ini Adalah Energi sinyal hasil dekomposisi wavelet pada tiap sub-band (*level of energy*).

B. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Penelitian dilakukan untuk menganalisis karakteristik sinyal getaran akibat kerusakan pada *double row bearing* menggunakan metode *Wavelet Packet Transform (WPT)* berbasis *level of energy*. Data yang digunakan berupa data sekunder getaran bearing dari repositori *NSF I/UCR Center on Intelligent Maintenance Systems (IMS)* dengan kondisi operasi konstan pada kecepatan 2000 *RPM* dan beban 2,7 ton. Proses analisis dilakukan melalui tahapan filtering, dekomposisi wavelet hingga level 5, serta perhitungan distribusi energi pada setiap sub-band menggunakan perangkat lunak *GNU Octave*. Hasil analisis digunakan untuk mengidentifikasi perubahan pola energi sinyal sebagai indikator kondisi bearing dari keadaan normal hingga mengalami kerusakan.

a. Prosedur penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan pengumpulan data sekunder sinyal getaran bearing yang diperoleh dari repositori *NSF I/UCR Center on Intelligent Maintenance Systems (IMS)* dan *Rexnord Corp.* Data getaran kemudian dipilih dan diolah menggunakan perangkat lunak *GNU Octave* melalui tahapan preprocessing yang meliputi normalisasi sinyal, filtering, dan denoising untuk mengurangi pengaruh noise. Selanjutnya sinyal getaran dianalisis menggunakan metode *Wavelet Packet Transform (WPT)* dengan dekomposisi hingga level 5 sehingga diperoleh 16 sub-band frekuensi. Pada setiap sub-band dilakukan perhitungan *level of energy* berdasarkan koefisien wavelet untuk mengetahui distribusi energi sinyal. Hasil perhitungan energi kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik getaran dari kondisi normal, awal kerusakan, perkembangan kerusakan, hingga kerusakan parah pada *double row bearing*. Tahap akhir penelitian dilakukan dengan interpretasi hasil analisis berdasarkan teori getaran dan mekanisme kerusakan bearing guna memperoleh kesimpulan mengenai efektivitas metode *Digital Signal Processing (DSP)* berbasis *level of energy* dalam mendeteksi kerusakan bearing secara dini.

b. Alat bahan penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk menganalisa data menggunakan :

1) Alat Penelitian :

- a) Komputer/Laptop
- b) Perangkat lunak *GNU Octave*
- c) Sensor akselerometer tipe *PCB 353B33 High Sensitivity Quartz ICP Accelerometer*

- d) Motor listrik penggerak
- e) Data logger National Instrument NI DAQ 6062E
- 2) Bahan Penelitian :
 - a) Data sinyal getaran bearing
 - b) Bearing tipe Rexnord ZA-2115 Double Row Bearing
 - c) Dataset Kondisi Bearing

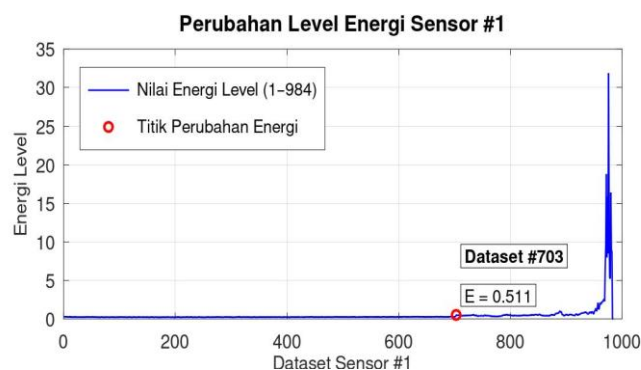
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Berdasarkan data level energi pada Sub-Band 1 hingga Sub-Band 8, terlihat adanya fluktuasi distribusi energi sinyal getaran pada setiap sub-band. Nilai energi tertinggi cenderung muncul pada Sub-Band 5 dan Sub-Band 6, yang menunjukkan konsentrasi energi pada rentang frekuensi tertentu akibat impuls getaran kerusakan bearing. Sementara itu, Sub-Band lainnya menunjukkan energi yang relatif lebih rendah dan stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa metode Wavelet Packet Transform mampu mengidentifikasi perubahan karakteristik getaran bearing melalui distribusi energi pada masing-masing sub-band.

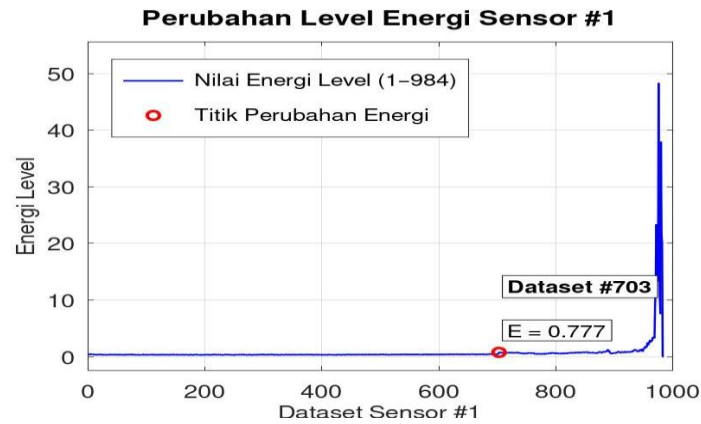
Tabel 1. Data Getaran

| No. | SB- 1 | SB- 2 | SB- 3 | SB- 4 | SB- 5 | SB- 6 | SB- 7 | SB- 8 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.25702 | 0.32986 | 0.52067 | 0.46179 | 0.90512 | 0.90338 | 0.5936 | 0.78249 |
| 2 | 0.26587 | 0.37953 | 0.60542 | 0.53601 | 1.0985 | 1.13207 | 0.85144 | 0.89154 |
| 3 | 0.29357 | 0.50764 | 0.59545 | 0.67867 | 0.88291 | 0.89179 | 0.70257 | 0.97204 |
| 4 | 0.27937 | 0.42526 | 0.61914 | 0.65746 | 0.89608 | 0.96937 | 0.77301 | 0.85004 |
| 5 | 0.25254 | 0.38762 | 0.56129 | 0.54378 | 1.01719 | 1.12206 | 0.73658 | 0.88011 |
| 6 | 0.24787 | 0.41395 | 0.6177 | 0.71418 | 0.97421 | 1.07531 | 0.77037 | 0.8849 |
| 7 | 0.31148 | 0.45506 | 0.68828 | 0.60408 | 0.83027 | 0.91457 | 0.65506 | 0.8465 |
| 8 | 0.24607 | 0.37305 | 0.58167 | 0.56079 | 0.83715 | 0.99236 | 0.78918 | 0.7704 |
| 9 | 0.26225 | 0.39498 | 0.61591 | 0.60416 | 0.89604 | 1.02055 | 0.73014 | 0.88195 |
| 10 | 0.22646 | 0.36948 | 0.53897 | 0.54693 | 0.69908 | 0.92595 | 0.6282 | 0.83633 |
| 11 | 0.29524 | 0.37536 | 0.546 | 0.6077 | 0.78588 | 0.90356 | 0.67409 | 0.78695 |
| 12 | 0.25948 | 0.34547 | 0.61178 | 0.55921 | 0.77918 | 0.89295 | 0.75746 | 0.78085 |
| 13 | 0.22392 | 0.36062 | 0.60383 | 0.50108 | 0.75679 | 0.89458 | 0.64712 | 0.77693 |
| 14 | 0.26094 | 0.37288 | 0.5781 | 0.57754 | 0.74906 | 0.83052 | 0.69973 | 0.90158 |
| 15 | 0.25605 | 0.36831 | 0.604 | 0.59935 | 0.73398 | 1.02621 | 0.8039 | 0.8287 |
| 16 | 0.23274 | 0.3335 | 0.7065 | 0.49145 | 0.72067 | 0.8623 | 0.79169 | 0.73761 |
| 17 | 0.22233 | 0.35062 | 0.63765 | 0.50657 | 0.88593 | 0.84397 | 0.67142 | 0.83139 |
| 18 | 0.22763 | 0.36788 | 0.49649 | 0.54406 | 0.73418 | 0.98102 | 0.7469 | 0.67961 |
| 19 | 0.25928 | 0.35076 | 0.50044 | 0.51921 | 0.72945 | 0.86516 | 0.65976 | 0.74191 |
| 20 | 0.25796 | 0.43766 | 0.63924 | 0.57004 | 0.78011 | 0.92364 | 0.81995 | 0.86373 |



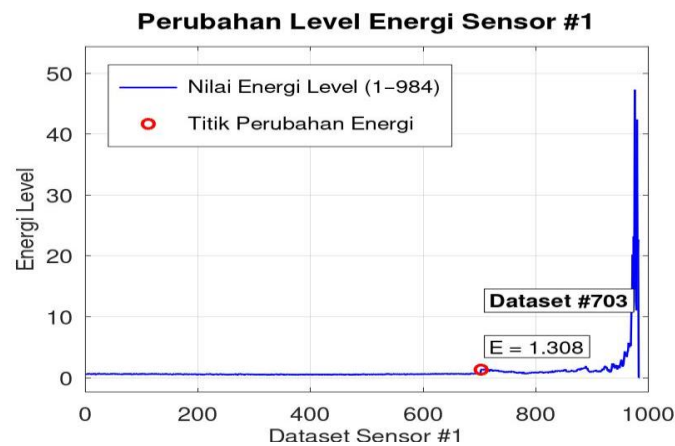
Gambar 1: Energi Sub-band 1

Gambar 1. menunjukkan level energi sinyal getaran cenderung rendah dan stabil dari dataset 1–950 yang menandakan kondisi bearing masih normal. Peningkatan energi pada dataset 703 sebesar $E = 0,511$ menunjukkan awal terjadinya kerusakan sebelum kegagalan total. Hasil ini membuktikan bahwa metode level of energy mampu mendeteksi kerusakan dini pada double row bearing.



Gambar 2 : Energi Sub-band 2

Gambar 2. menunjukkan level energi sinyal getaran yang relatif stabil hingga dataset 950, menandakan kondisi bearing masih normal. Namun, pada dataset 703 terjadi peningkatan energi sebesar $E = 0,777$ yang mengindikasikan awal kerusakan pada bearing. Kondisi ini diperkuat oleh lonjakan energi yang sangat tinggi pada dataset akhir (984), yang menunjukkan perkembangan kerusakan hingga mendekati kegagalan total.



Gambar 3 : Energi Sub-band 3

Gambar 3 menunjukkan level energi sinyal getaran yang stabil hingga mendekati dataset 950, menandakan kondisi bearing masih normal. Pada dataset 703 terdeteksi peningkatan energi sebesar $E = 1,308$ yang mengindikasikan awal kerusakan pada bearing. Selanjutnya, terjadi lonjakan energi yang sangat tinggi pada dataset 984, menunjukkan perkembangan kerusakan hingga mencapai kegagalan total.

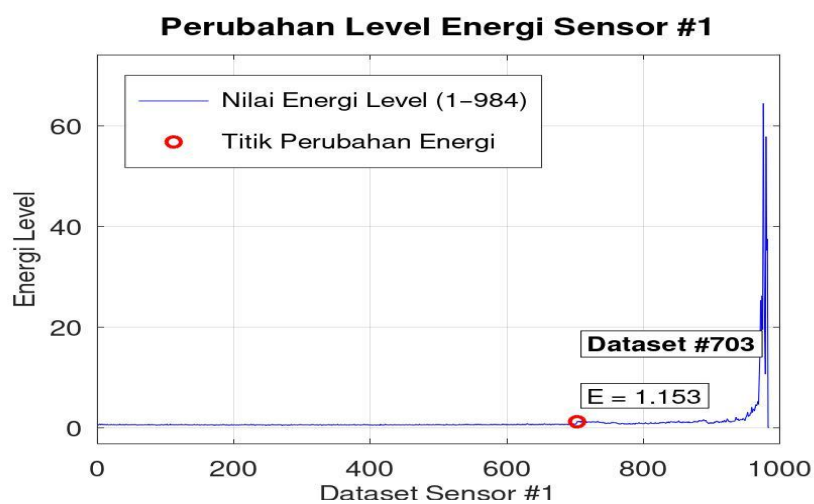
B. Pembahasan

Berdasarkan data dataset 965–984, terlihat adanya peningkatan level energi yang sangat signifikan pada seluruh sub-band, khususnya mulai dataset 970 hingga 982. Lonjakan energi tertinggi terjadi pada dataset 976 dan 980, terutama pada Sub-Band 5 dan Sub-Band 6 dengan nilai energi mencapai di atas 90, yang menunjukkan kondisi kerusakan bearing sudah memasuki tahap parah atau mendekati kegagalan total. Peningkatan energi ini menandakan

munculnya impuls getaran yang semakin besar akibat perkembangan cacat pada bearing. Sementara itu, pada dataset 983–984 nilai energi turun mendekati nol yang mengindikasikan sistem telah mengalami kegagalan akhir atau penghentian operasi pengujian.

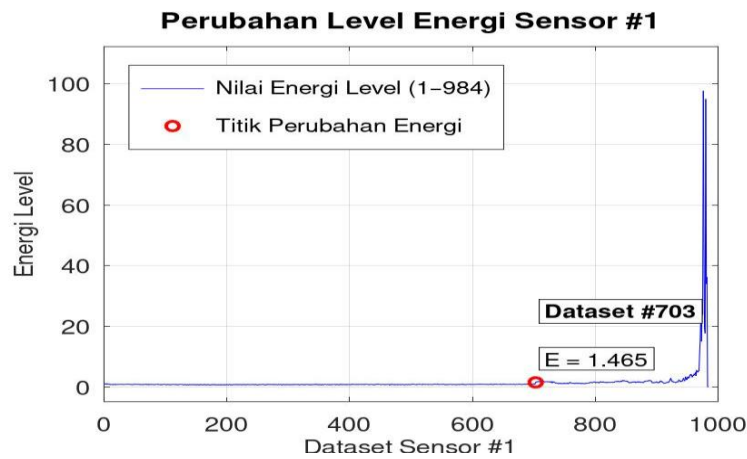
Tabel 2. Data Perubahan Getaran

| No. | SB-1 | SB-2 | SB-3 | SB-4 | SB-5 | SB-6 | SB-7 | SB-8 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 965 | 2.2445 | 2.86193 | 5.69724 | 4.52538 | 5.43543 | 5.04189 | 6.86486 | 6.00746 |
| 966 | 2.19605 | 3.44461 | 5.07287 | 4.30234 | 4.98145 | 6.07885 | 4.98335 | 7.23372 |
| 967 | 2.50795 | 3.22987 | 4.99114 | 4.59339 | 4.86181 | 5.03933 | 4.83187 | 5.90446 |
| 968 | 2.49758 | 3.49558 | 5.6684 | 5.19086 | 5.24946 | 4.735 | 7.32832 | 6.36431 |
| 969 | 2.29354 | 3.28996 | 5.2003 | 4.58649 | 5.27171 | 5.66747 | 5.85656 | 5.70768 |
| 970 | 6.56943 | 9.3079 | 10.66651 | 9.84103 | 10.97081 | 11.83529 | 9.43083 | 11.51733 |
| 971 | 9.58131 | 12.13606 | 12.401 | 14.6411 | 15.4281 | 16.48365 | 14.31678 | 18.08311 |
| 972 | 18.75189 | 23.35147 | 20.16606 | 25.2367 | 24.15653 | 21.04738 | 19.24772 | 25.9277 |
| 973 | 7.97867 | 14.12863 | 11.01177 | 17.79971 | 14.99012 | 16.77643 | 11.23694 | 14.19846 |
| 974 | 15.86207 | 23.20068 | 23.16491 | 26.13506 | 26.6912 | 28.18153 | 24.60879 | 21.79221 |
| 975 | 8.52854 | 13.32404 | 14.54218 | 19.48105 | 23.84615 | 24.08119 | 13.38542 | 21.33103 |
| 976 | 31.85138 | 48.32949 | 47.26832 | 64.37045 | 97.62298 | 76.2893 | 59.41905 | 68.90555 |
| 977 | 12.27337 | 21.27219 | 25.37965 | 35.61212 | 46.45478 | 44.3972 | 27.29411 | 37.17982 |
| 978 | 5.34192 | 10.73314 | 12.61282 | 19.02949 | 19.32365 | 23.95712 | 12.41819 | 22.21646 |
| 979 | 5.23304 | 7.53416 | 11.044 | 10.67392 | 17.71713 | 17.20398 | 12.50402 | 15.4971 |
| 980 | 16.38719 | 37.99293 | 42.37324 | 57.80869 | 94.90691 | 81.42136 | 52.3219 | 74.26003 |
| 981 | 8.98437 | 21.61729 | 19.81381 | 35.24612 | 33.95488 | 25.80972 | 17.96479 | 24.59169 |
| 982 | 8.71514 | 20.0163 | 22.69327 | 37.43026 | 36.19364 | 32.98351 | 24.47599 | 31.09296 |
| 983 | 0.00059 | 0.00069 | 0.0003 | 0.00047 | 0.00033 | 0.00035 | 0.00029 | 0.00033 |
| 984 | 0.0003 | 0.0004 | 0.00017 | 0.00028 | 0.00021 | 0.00018 | 0.0002 | 0.0002 |



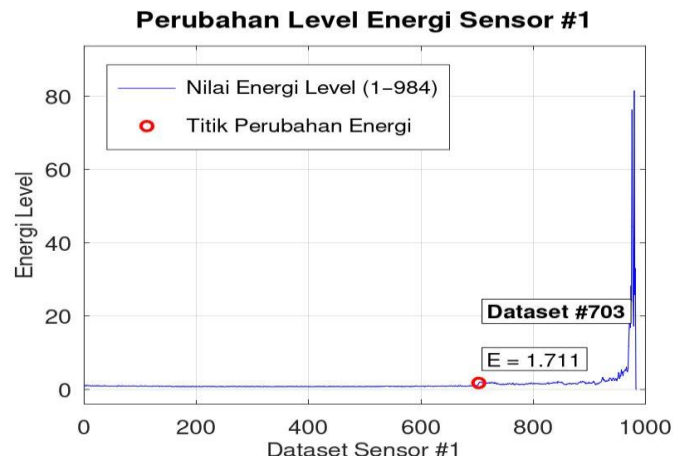
Gambar 4: Energi Sub-band 4

Gambar 4 menunjukkan level energi sinyal getaran pada sub-band 4 yang relatif stabil pada awal pengujian, menandakan kondisi bearing masih normal. Pada dataset 703 terdeteksi peningkatan energi sebesar $E = 1,153$ yang mengindikasikan awal kerusakan pada bearing. Selanjutnya, pada dataset 984 terjadi lonjakan energi ekstrem hingga melampaui 60 yang menunjukkan perkembangan kerusakan menuju kegagalan total.



Gambar 5 : Energi Sub-band 5

Gambar 5 menunjukkan level energi sinyal getaran pada sub-band 5 yang relatif stabil pada kondisi awal pengujian, menandakan bearing masih beroperasi normal. Pada dataset 703 terdeteksi peningkatan energi sebesar $E = 1,465$ yang mengindikasikan awal terjadinya kerusakan pada bearing akibat munculnya energi transien dari cacat bantalan.



Gambar 6 : Energi Sub-band 6

Gambar 6 menunjukkan level energi sinyal getaran pada sub-band 6 yang relatif stabil pada sebagian besar periode pengujian, menandakan kondisi bearing masih normal. Namun, pada dataset 703 terdeteksi peningkatan energi sebesar $E = 1,711$ yang mengindikasikan awal terjadinya kerusakan pada bearing akibat munculnya impuls energi dari cacat mikro pada elemen bantalan.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan energi pada dataset 703, sehingga level of energy dapat digunakan sebagai indikator kerusakan dini. Temuan ini secara langsung menjawab rumusan masalah mengenai besarnya nilai energi sinyal getaran bearing serta membuktikan bahwa tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi kerusakan lebih awal menggunakan GNU Octave, telah tercapai secara sistematis dan konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

Bendjama, H. (2022). Bearing fault diagnosis based on optimal Morlet wavelet filter and Teager-Kaiser energy operator. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44(9), 392. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03688-4>

- Cao, L., & Sun, W. (2024). Research on Bearing Fault Identification of Wind Turbines' Transmission System Based on Wavelet Packet Decomposition and Probabilistic Neural Network. *Energies*, 17(11), 2581. <https://doi.org/10.3390/en17112581>
- Gougam, F., Rahmoune, C., Benazzouz, D., Afia, A., & Zair, M. (2020). Bearing faults classification under various operation modes using time domain features, singular value decomposition, and fuzzy logic system. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(10). <https://doi.org/10.1177/1687814020967874>
- Goyal, D., Mongia, C., & Sehgal, S. (2021). Applications of Digital Signal Processing in Monitoring Machining Processes and Rotary Components: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(7), 8780–8804. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3050718>
- Harris, T. A., & Kotzalas, M. N. (2006). *Rolling Bearing Analysis - 2 Volume Set*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482275148>
- Imane, M., Rahmoune, C., Zair, M., & Benazzouz, D. (2024). Multi-fault bearing diagnosis under time-varying conditions using Empirical Wavelet Transform, Gaussian mixture model, and Random Forest classifier. *Advances in Mechanical Engineering*, 16(8). <https://doi.org/10.1177/16878132241275787>
- Immovilli, F., Cocconcelli, M., Bellini, A., & Rubini, R. (2009). Detection of generalized-roughness bearing fault by spectral-kurtosis energy of vibration or current signals. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(11), 4710–4717. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2025288>
- Maladzi, R., Prahasto, T., & Widodo, A. (2017). Analisis Kerusakan Bantalan Gelinding Dengan Variasi Kecepatan Putar Berdasarkan Pola Getaran Menggunakan Metoda Envelope Analysis. *Semarang*, 5(1), 32–41.
- Naibaho, W., Siahaan, S., & Naibaho, R. (2021). Analisa Perbandingan Putaran Mesin Untuk Kompresor Air Condition Pada Mobil Daihatsu Taruna Terhadap Karakteristik Getaran Berdasarkan Time Domain. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 2(1), 25–35. <https://doi.org/10.53695/jm.v2i1.229>
- Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2010). No Title. In *Discrete-time signal processing (3rd ed.)*.
- Peng, Z. K., Tse, P. W., & Chu, F. L. (2005). A comparison study of improved Hilbert–Huang transform and wavelet transform: Application to fault diagnosis for rolling bearing. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 19(5), 974–988. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2004.01.006>
- Qu, J., Cheng, X., Liang, P., Zheng, L., & Ma, X. (2023). Fault Diagnosis of Bearings Using Wavelet Packet Energy Spectrum and SSA-DBN. *Processes*, 11(7), 1875. <https://doi.org/10.3390/pr11071875>
- Randall, R. B. (2011). *Vibration-based Condition Monitoring*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470977668>
- Rao, S. S. (2017). Mechanical Vibrations (6th ed.). In *Mechanical Vibrations (6th ed.)*.
- Romdhoni, Mardiansyah, & Kusnadi, H. (2023). Bearing Fault Detection Menggunakan Metode Wavelet Berbasis Labview. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 22(1), 49–58. <https://doi.org/10.31358/techne.v22i1.340>