

## DIAGNOSIS KERUSAKAN *BEARING* DENGAN ANALISIS SINYAL GETARAN PADA PROGRAM MATLAB

\*Satria Ika Dinwasiba<sup>1</sup>, Achmad Widodo<sup>2</sup>, Ismoyo Haryanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [satriaid010796@gmail.com](mailto:satriaid010796@gmail.com)

### Abstrak

Bearing adalah satu komponen yang penting dalam kelangsungan operasional pada mesin-mesin industri. Kegagalan pada bearing dapat disebabkan oleh beberapa faktor cacat yang terjadi pada bantalan bola dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kontaminasi masuknya suatu zat atau benda lain, tegangan lebih (overstress), pelumasan yang kurang, dan cacat yang timbul setelah proses manufaktur. Oleh karena itu, dibutuhkan sarana untuk dapat mendiagnosis kerusakan bearing dengan menganalisis sinyal getaran pada program matlab. Pengolahan sinyal dilakukan dengan membuat respon domain waktu kemudian mengubahnya menjadi respon domain frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). Simulasi dilakukan dengan fungsi AWGN untuk mendapat hasil dari kejadian acak berdasarkan noise yang terdistribusi normal. Diagnosis kerusakan bantalan gelinding melalui sinyal getaran yang diperoleh berdasarkan ciri frekuensi khusus yang menandai timbulnya cacat, berupa Fundamental Train Frequency (FTF) yang terjadi pada sangkar, Ball Spin Frequency (BSF) pada bola, Ball Pass Frequency Outer (BPFO) pada lintasan luar, dan Ball Pass Frequency Inner (BPFI) pada lintasan dalam. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapat hasil yang menunjukkan kenaikan pada frekuensi cacat lokal laju amplitudonya lebih tinggi dibandingkan kenaikan laju amplitudonya elemen bearing lainnya.

**Kata kunci:** *bearing*; diagnosis kerusakan; *fast fourier transform*

### Abstract

*Bearing is an important component in continuous operation of industrial machines. Bearing failure can be caused by several factors defects that occur in ball bearings can be caused by several factors, including contamination from the entry of a substance or other object, over stress, lack of lubrication, and defects that arise after the manufacturing process. Therefore, a means is needed to be able to diagnose bearing damage by analyzing the vibration signal in the matlab program. Signal processing is done by making a time domain response and then converting it into a frequency domain response using the Fast Fourier Transform (FFT) method. Simulations are carried out with the AWGN function to get results from random events based on normally distributed noise. The diagnosis of rolling bearing damage is based on the vibration signal obtained based on special frequency characteristics that indicate the occurrence of defects, in the form of Fundamental Train Frequency (FTF) in the cage, Ball Spin Frequency (BSF) on the ball, Ball Pass Frequency Outer (BPFO) on the outer track, and Ball Pass Frequency Inner (BPFI) on the inner track. From the results of the analysis that has been carried out, the results show that the increase in the frequency of local defects has a higher amplitude rate than the increase in the amplitude rate of other bearing elements.*

**Keywords:** *bearing*; *damage diagnosis*; *fast fourier transform*

### 1. Pendahuluan

Pemantauan kondisi *rolling-element* mesin penting dalam hal pemeliharaan sistem dan otomatisasi proses pemesinan. Kegagalan *rolling-element* bearing adalah salah satu penyebab utama kegagalan di mesin berputar. Ini membutuhkan pengembangan, implementasi, dan penyebaran sistem pemantauan diagnostik yang tidak bergantung pada kondisi pengoperasian [1].

Mesin dioperasikan secara terus menerus pada putaran/kecepatan tinggi. Pendeteksian dengan cara mendengarkan suara mesin yang sedang beroperasi tidak lagi efektif untuk diterapkan, karena frekuensi yang dihasilkan masing-masing elemen mesin sangat tinggi dan bervariasi, sehingga alat indra pun sulit untuk membedakannya. Pemantauan kondisi mesin yang berputar sering kali melibatkan penggunaan pemrosesan sinyal algoritma pada getaran terukur. Karena sebagian besar sistem beroperasi di industri yang bising lingkungan, beberapa bentuk rata-rata statistik biasanya diperlukan untuk mengekstrak fitur yang dapat diandalkan [2]. Jika

dilakukan pembongkaran akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu telah dikembangkan berbagai metode untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada elemen mesin sedini mungkin, tanpa harus menghentikan pengoperasian mesin [3].

Pada era industri modern ini, teknologi komputasi telah banyak digunakan dalam proses perawatan dan perbaikan alat dan mesin oleh industri. Pemantauan secara terkomputasi dapat dilakukan dengan menganalisis sinyal getaran *bearing*. Sinyal getaran yang dihasilkan dari *rolling-element bearing* menghadirkan analisis yang tepat yang dapat mengarah pada identifikasi kemungkinan kesalahan. Kerangka ini, selain itu, mampu memodelkan sinyal dengan statistik yang bervariasi secara berkala, lebih mampu menunjukkan konsep fisika yang mendasari mekanisme modulasi yang ada di respon getaran bantalan [4].

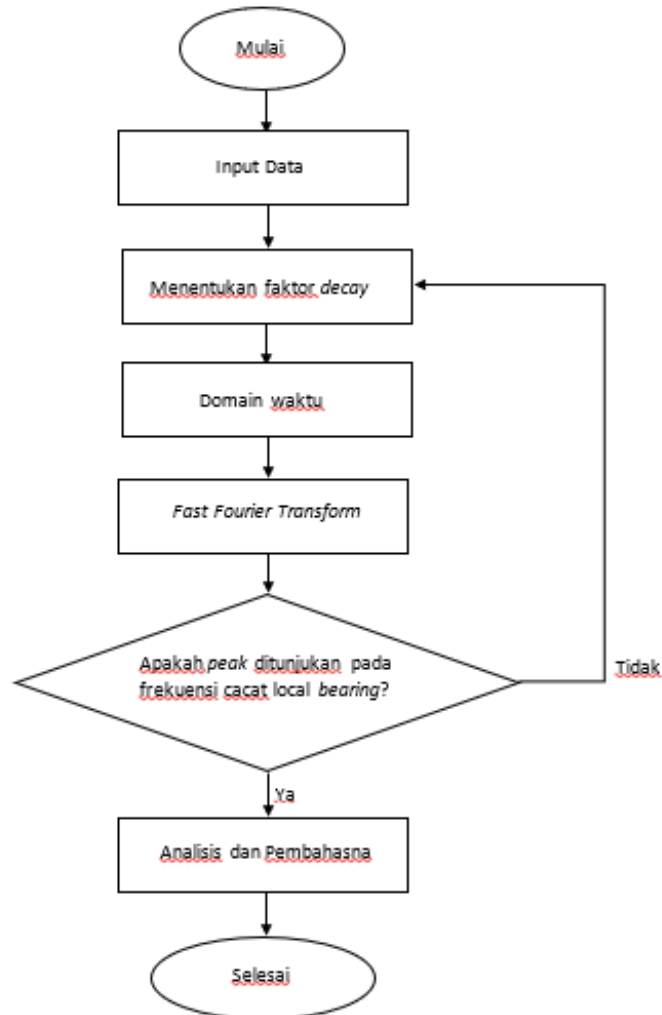
*Bearing* merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang fungsi utamanya adalah menjaga posisi dengan membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mekanik yang saling terhubung agar selalu bergerak sesuai arah gerak yang diinginkan [5]. *Bearing* berfungsi untuk mengurangi gesekan peralatan berputar pada poros (*shaft*) atau as serta untuk menumpu sebuah poros agar dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. *Bearing* merupakan komponen mekanik mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antar dua komponen mesin yang bergerak, menunjang kedudukan putaran komponen mesin, serta memperlancar putaran pada poros yang berputar terhadap komponen yang tetap.

Komponen bearing merupakan salah satu kasus untuk dapat dilakukan pengujian analisis getaran dalam memonitoring kondisi untuk diagnosis kerusakan. Agar dapat melihat perbedaan sinyal getaran tersebut, beberapa hal yang perlu ditinjau dalam analisis kali ini seperti mengetahui cara melakukan pemodelan dan analisis sinyal getaran [6]. Kelayakan untuk dapat dilakukannya diagnosis kerusakan bearing dilihat dari hasil perbedaan sinyal getaran setelah dilakukan pemodelan dari data getaran domain waktu diubah ke dalam domain frekuensi menggunakan fungsi *Fast Fourier Transform (FFT)*, lalu dilakukan analisis sinyal getaran dengan menggunakan *envelope spectrum*, melakukan analisis getaran pada *bearing* dibantu program Matlab [7].

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### 2.1 Pemrograman Matlab

Dalam sebuah penelitian diperlukan diagram alir untuk menggambarkan jalannya proses penelitian mulai dari awal hingga akhir yang telah dilakukan pada **Gambar 1** adalah diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir pemrograman

## 2.1 Pemrograman Matlab

Data yang merupakan variable tetap yang dimasukan adalah data spesifikasi *bearing* dan kecepatan rotasi dari simulasi *cycostationary* dari studi literatur yang telah dilakukan. Kemudian mencari nilai peluruhan dalam beberapa variasi, untuk mengetahui amplitudo maksimum pada frekuensi kerusakan *bearing* pada respon domain frekuensi. Pengolahan data pada Matlab menghasilkan respon domain waktu yang menampilkan getaran dengan sumbu x berupa simpangan angular dan sumbu y berupa fungsi waktu. Data yang berupa respon domain waktu diubah menjadi respon domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT).

Amplitudo puncak atau *peak* pada frekuensi kerusakan lokal *bearing* menunjukkan indikasi kerusakan pada bagian-bagian bearing tertentu seperti pada bagian *outer*, *inner*, dan *ball* sesuai dengan frekuensi cacat lokalnya masing-masing. Faktor *decay* atau peluruhan akan mempengaruhi bagian frekuensi mana yang memiliki amplitudo tinggi dan rendah [8]. Ketika cacat permukaan muncul pada elemen *bearing*, benturan atau kekuatan impulsif yang menampakkan diri dalam getaran sinyal dukungan dalam kondisi operasi, secara berkala di kasus kecepatan konstan poros. Oleh karena itu, periodik interaksi antara cincin dan elemen bergulir terjadi. Jika beban bantalan adalah radial, analisis frekuensi radial sinyal getaran menyoroti modulasi amplitudo, di mana pembawa adalah resonansi mekanis apa pun, dan modulasi sinyal adalah frekuensi karakteristik mekanik di atas menggambarkan fenomena interaksi [9]. Adapun persamaan kerusakan cacat lokal *bearing* sebagai berikut :

$$F_C = \frac{1}{2} F_R \left( 1 - \frac{d \cos \beta}{D} \right) \quad (2.1)$$

$$F_O = \frac{N_B}{2} F_R \left( 1 - \frac{d \cos \beta}{D} \right) \quad (2.2)$$

$$F_I = \frac{N_B}{2} F_R \left( 1 + \frac{d \cos \beta}{D} \right) \quad (2.3)$$

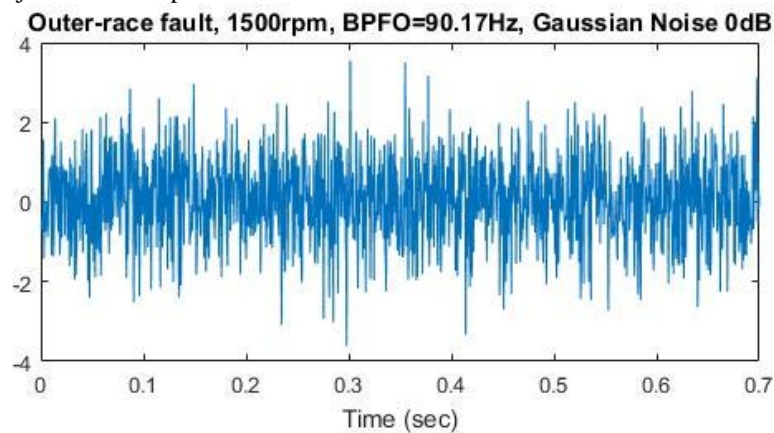
$$F_B = \frac{d}{D} F_R \left[ 1 - \left( \frac{d \cos \beta}{D} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

Kegagalan di raceway dalam, raceway luar, atau elemen rolling akan menghasilkan komponen frekuensi unik di getaran mesin dan sinyal terukur lainnya. Frekuensi kegagalan bearing adalah fungsi dari geometri bantalan dan kecepatan operasi. Jika lingkaran luar stasioner, dimana  $F_R$  (FTF) adalah frekuensi mekanik rotor,  $F_C$  adalah cage frekuensi kegagalan,  $F_I$  (BPFI) adalah frekuensi cacat lokal raceway dalam (inner),  $F_O$  (BPFO) adalah frekuensi kegagalan raceway luar (outer),  $F_B$  (BSF) adalah frekuensi cacat lokal bola (ball),  $d$  adalah diameter bola,  $D$  untuk diameter pitch,  $N_B$  untuk jumlah elemen bergulir, dan  $\beta$  untuk sudut kontak bola.

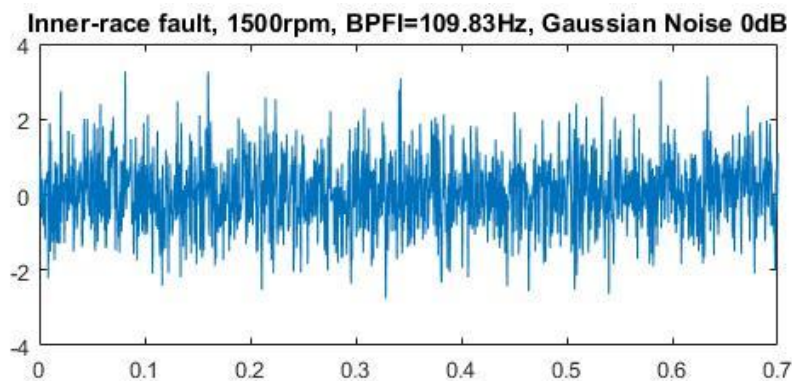
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Respon Domain Waktu

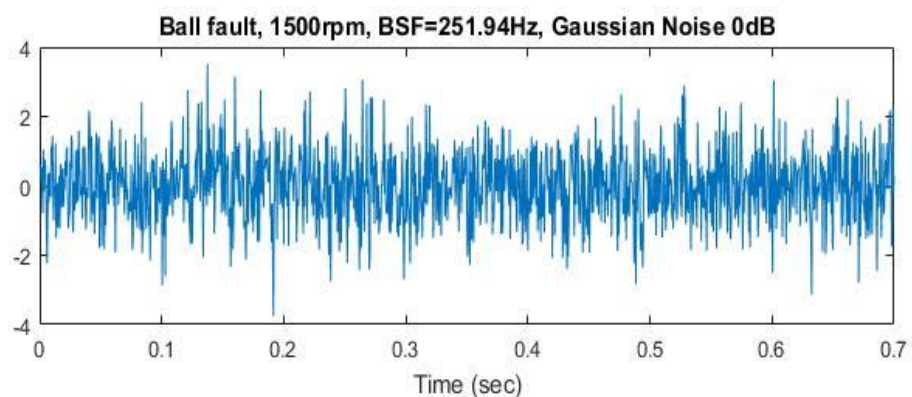
Data getaran yang telah dilakukan pemrosesan sinyal akan menghasilkan respon domain waktu. Pada gambar sinyal getaran dibawah menunjukkan hasil respon domain waktu :



Gambar 2. Respon domain waktu BPFO



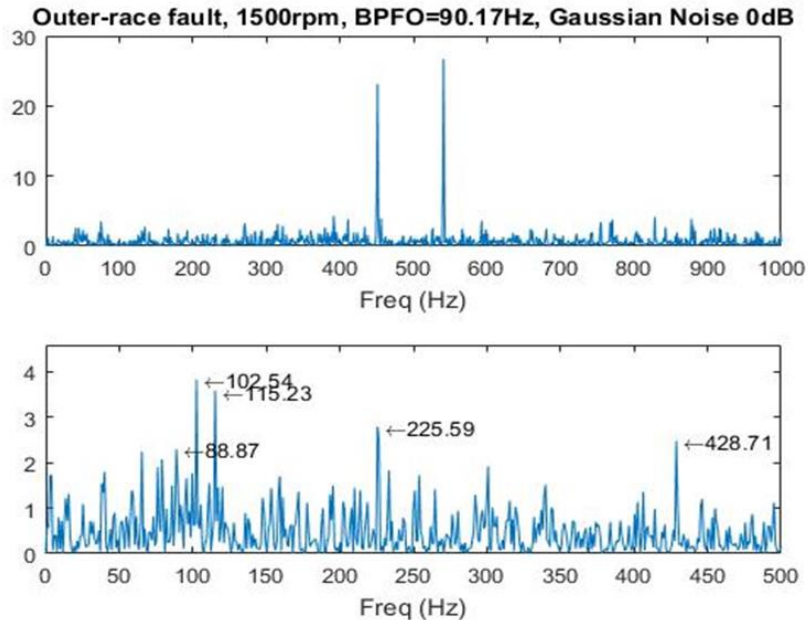
Gambar 3. Respon Domain Waktu BPFI



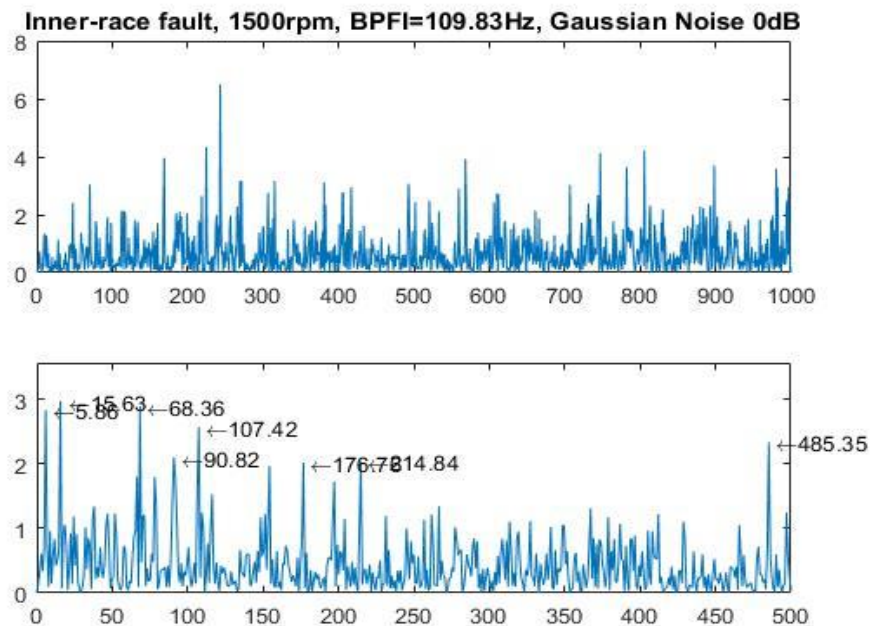
Gambar 4. Respon Domain Waktu BSF

### 3.1 Respon Domain Frekuensi

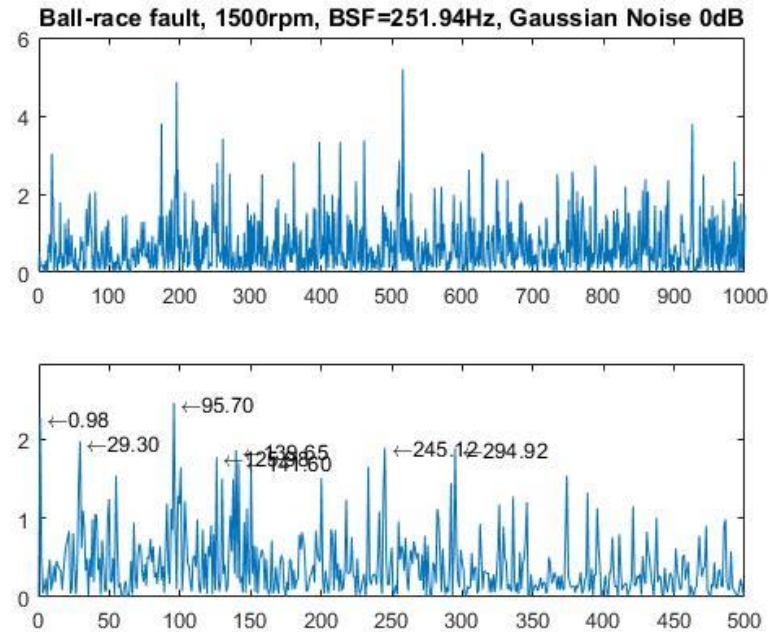
Respon domain waktu kemudian dikonversikan menjadi domain frekuensi domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) yang akan menunjukkan dua hasil sinyal dari *raw spectrum* dan *envelope spectrum*. Terdapat tiga jenis *plotting* berdasarkan cacat lokal yaitu bagian *outer*, *inner* dan *ball*. Kemudian setiap *plot* cacat lokal terdapat dua *plotting* pada coding diatas yaitu *raw spectrum* dan *envelope spectrum*. Sehingga dalam satu jenis cacat lokal terdapat dua hasil plot yaitu *raw* dan *envelope spectrum*. Pada *coding* sebelumnya terdapat fungsi *randomness* yaitu fungsi untuk mensimulasikan kejadian acak berdasarkan penambahan *noise* yang terdistribusi normal. Hasil *plotting* menunjukan *peak* (titik puncak) pada posisi frekuensi yang berbeda setiap dilakukan simulasi [10]. Berikut adalah hasil respon domain waktu :



Gambar 5. Respon Domain Frekuensi pada BPFO



Gambar 6. Respon Domain Frekuensi pada BPFI



**Gambar 7.** Respon Domain Frekuensi pada BSF

Pada gambar 5 bagian bawah terdapat arah panah yang menunjukkan peak atau puncak pada frekuensi cacat lokal tertentu. Frekuensi cacat lokal pada BPFO adalah 90.17 Hz, sementara hasil pada gambar menunjukkan 90.82 Hz. Pada gambar 6 bagian bawah terdapat arah panah yang menunjukkan peak atau puncak frekuensi cacat lokal pada BPFI adalah 109.83 Hz, sementara hasil pada gambar menunjukkan 107.42 Hz. Pada gambar 7 bagian bawah terdapat arah panah yang menunjukkan peak atau puncak pada frekuensi cacat lokal BSF dengan 251.94 Hz menunjukkan hasil 245.12 Hz.

#### 4. Kesimpulan

Hasil pada raw spectrum memiliki perbedaan dengan envelope spectrum dimana envelope spectrum akan menunjukkan peak atau puncak amplitude pada terhadap domain frekuensi. Fungsi AWGN dengan kondisi noise acak mengakibatkan hasil plot berbeda-beda, namun dalam beberapa percobaan simulasi terdapat hasil yang mendekati yang artinya bearing terindikasi mengalami kerusakan. Envelope spectrum menunjukkan hasil peak pada frekuensi yang mendekati frekuensi cacat lokal bearing.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Cioch, W., Knapik, O., & Leśkow, J. (2013). Finding a frequency signature for a cyclostationary signal with applications to wheel bearing diagnostics. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 38(1), 55-64.
- [2] McCormick, A. C., & Nandi, A. K. (1998). Cyclostationarity in rotating machine vibrations. *Mechanical systems and signal processing*, 12(2), 225-242.
- Nachenius, R. W., Ward, T. A., Ronsse, F., Prins, W., 2015, "Residence Time Distributions Of Coarse Biomass Particles In A Screw Conveyor Reactor". *Fuel Processing Technology*, 130: 87-95
- [3] McNerny, S. A., & Dai, Y. (2003). Basic vibration signal processing for bearing fault detection. *IEEE Transactions on education*, 46(1), 149-156.
- [4] Antoniadis, I., & Glossiotis, G. (2001). Cyclostationary analysis of rolling-element bearing vibration signals. *Journal of sound and vibration*, 248(5), 829-845.
- [5] McNerny, S. A., & Dai, Y. (2003). Basic vibration signal processing for bearing fault detection. *IEEE Transactions on education*, 46(1), 149-156.
- [6] Shah, D. S., & Patel, V. N. (2014). A review of dynamic modeling and fault identifications methods for rolling element bearing. *Procedia Technology*, 14, 447-456.
- [7] McFadden, P. D., & Smith, J. D. (1984). Vibration monitoring of rolling element bearings by the high-frequency resonance technique—a review. *Tribology international*, 17(1), 3-10.
- [8] Bechhoefer, E. (2016). A quick introduction to bearing envelope analysis. *Green Power Monit. Syst.*
- [9] Immovilli, F., Bellini, A., Rubini, R., & Tassoni, C. (2010). Diagnosis of bearing faults in induction machines by vibration or current signals: A critical comparison. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(4), 1350-1359.
- [10] Kang, M., Kim, J., Kim, J. M., Tan, A. C., Kim, E. Y., & Choi, B. K. (2014). Reliable fault diagnosis for low-speed bearings using individually trained support vector machines with kernel discriminative feature analysis. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(5), 2786-2797.