

Bearing Fault Detection Menggunakan Metode Wavelet Berbasis Labview

Romdhoni¹, Mardiansyah², Heri Kusnadi³

Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknik

Universitas Sutomo, Serang

¹isasromdhoni@gmail.com, ² marrdiansyah@gmail.com, ³herikusnadi087@gmail.com

Abstrak

Untuk mengetahui dan mendeteksi jenis dan tingkat kerusakan *bearing* pada motor induksi, dapat dilakukan analisis sinyal getarannya. Pada penelitian ini, akan dianalisis jenis kerusakan *bearing* yang diakibatkan oleh kerusakan lokal atau yang terdistribusi, dengan ditunjukkan oleh adanya getaran dengan frekuensi tertentu yang muncul. Sedangkan untuk tingkat kerusakan umumnya, dapat diketahui dari besarnya amplitudo getarannya. Metode yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan *bearing* adalah dengan mengukur karakteristik getaran menggunakan sensor accelerometer dan analisis wavelet berbasis Labview, dalam domain waktu maupun domain frekuensi yang terjadi pada arah putaran radial. Percobaan yang dilakukan untuk mengetahui spektrum getaran akibat kerusakan *bearing* pada motor induksi adalah dengan cara memodifikasi atau sengaja merusak pada *bearing* tersebut. Analisis perbandingan getaran antara *bearing* yang ber kondisi baik dan yang dibuat cacat pada bagian *inner race*, *outer race* dan *ball bearing* dilakukan secara bertingkat sehingga dapat ditentukan jenis dan tingkat kerusakan pada *bearing* tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk sinyal vibrasi yang dihasilkan dari getaran *bearing* yang baik mendekati harmonik (sinusoidal), sedangkan yang rusak sinyal getarannya berbentuk stokastik (random). Untuk menentukan jenis kerusakan *inner race*, *outer race* dan *ball bearing* harus disinkronkan antara frekuensi getaran dan perhitungan yang berdasarkan data akuisi dari parameter bantalannya, yaitu diameter lintasan *inner ring* dan *outer ring*, jumlah *ball bearing* dan putaran poros.

Kata kunci: *bearing*, wavelet, Labview, deteksi kerusakan

Abstract

In order to find out and detect the type and level of damage to the bearing on an induction motor, the vibration signal analysis can be employed. In this study, we will analyze the type of bearing damage caused by local or distributed damage indicated by the presence of vibrations with a certain frequency that appears. Meanwhile, the level of damage is generally known from the magnitude of the vibration amplitude. The method used to detect bearing damage is by measuring the vibration characteristics using the accelerometer sensor and Labview-based wavelet analysis, in both time domain and frequency domain that occurs in the direction of radial rotation. The experiment to determine the spectrum of vibration due to the bearing damage on an induction motor is by modifying or intentionally damaging the *bearing*. Comparative analysis of vibrations between good bearings and those that are defective in the *inner race*, *outer race* and *ball bearings* is carried out in stages so that the type and degree of damage to the *bearing* can be determined. The results showed that the shape of vibration signal produced by good *bearing* vibrations is close to harmonic

(sinusoidal), while the damaged vibration signal is stochastic (random). To determine the type of damage to the inner race, outer race and ball bearings, it is necessary to synchronize the vibration frequency and calculations based on data acquisition of the bearing parameters, namely the diameter of the inner ring and outer ring paths, the number of ball bearings, and the rotation of the shaft.

Keywords: *bearing*, wavelet, Labview, fault detection

1. Pendahuluan

Motor induksi adalah komponen umum dalam banyak industri. Gangguan dapat terjadi karena kecepatan berlebih, beban berlebih, suhu tinggi, getaran, arus berlebih, dan tegangan berlebih. Pemantauan lengkap diperlukan untuk mencegah motor dari kerusakan. Berbagai skema perlindungan telah diterapkan untuk melindungi motor dari gangguan [1].

Motor induksi umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti kendaraan listrik, peralatan mesin, dan robot. Selain itu, motor induksi menyumbang sekitar 40% dari konsumsi listrik global tahunan [2]. Oleh karena itu, pemantauan kondisi kesehatan motor induksi yang andal sangat berguna di industri untuk mengidentifikasi kegagalan motor induksi serta untuk menjaga efisiensi daya motor dan menghindari kegagalan tak terduga yang dapat mengakibatkan kerugian produksi dan ekonomi yang besar. Kecacatan motor induksi memiliki keterkaitan dengan ketidaksempurnaan pada stator, bantalan, dan rotor [3].

Penyebab gangguan batang rotor antara lain tegangan beban dinamis yang berlebihan, tegangan elektromagnetik akibat ketidakseimbangan medan magnet stator, korosi akibat bahan kimia di lingkungan, dan beberapa penyebab lainnya [4]. Akibat dari kecacatan *Broken Rotor Bar* (BRB) adalah peningkatan getaran dan kebisingan, kerusakan efisiensi output motor, dan kegagalan motor induksi awal [5].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal vibrasi yang dihasilkan dari getaran *bearing* yang baik mendekati harmonik (sinusoidal), sedangkan yang rusak sinyal getarannya berbentuk stokastik (random). Untuk menentukan jenis kerusakan *inner race*, *outer race* dan ball *bearing* harus disinkronkan antara frekuensi getaran dan perhitungan yang berdasarkan data akuisi dari parameter bantalannya, yaitu diameter lintasan *inner ring* dan *outer ring*, jumlah ball *bearing* dan putaran poros.

2. Tinjauan Pustaka

Cara kerja motor listrik didasarkan pada fakta bahwa konduktor pembawa arus menghasilkan medan magnet di sekitarnya. Medan magnet dari magnet mengganggu medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir di konduktor. Karena rotor telah menjadi magnet, salah satu sisinya akan tertarik ke kutub utara magnet dan sisi lainnya ke kutub selatan. Hal ini menyebabkan loop berputar terus menerus. Ini adalah prinsip kerja motor listrik

2.1. Vibrasi

Beberapa mekanisme interaksi elektromagnetik dan mekanik mesin yang menghasilkan kebisingan dan getaran telah dianalisis dan dihitung [6]. Selain itu telah dilakukan pemesinan ultrasonik menggunakan kombinasi getaran longitudinal ultrasonik dan bubuk abrasif [7]. Pengaruh parameter gerakan pada respon getaran

dipelajari dengan menguji gerakan yang dirancang di bawah parameter yang berbeda dan membandingkan karakteristik sinyal respon getaran dalam domain waktu dan frekuensi [8]. Puncak utama kebisingan dan getaran berasal dari frekuensi *switching* dan harmoniknya serta frekuensi pita samping yang dimodulasi oleh frekuensi suplai fundamental pada frekuensi *switching* yang lebih rendah [9].

2.2. Bearing

Tegangan bantalan dan arus bantalan pada mesin listrik yang digerakkan oleh konverter modulasi lebar pulsa dengan frekuensi *switching* tinggi dan dv/dt tinggi dapat menyebabkan kegagalan bantalan prematur [10]. Poros rotor motor induksi tiga fasa digantung pada dua bantalan; satu di sisi kipas, yang lain di sisi beban [11]. Saat ini, diagnosis dan klasifikasi kesalahan sangat penting, terutama pada mesin berputar untuk menghindari kerusakan material dan kerugian manusia [12].

2.3. Metode Wavelet

Metode Transformasi Wavelet Diskrit (DWT) dapat digunakan untuk mengusulkan prosedur untuk menggunakan koefisien wavelet dengan fungsi wavelet Haar untuk mengidentifikasi outlier untuk ancaman [13]. Wavelet yang merupakan jaringan saraf convolutional dengan filter dan bobot tetap adalah alat yang menjanjikan untuk analisis gambar [14]. Wavelet juga dapat digunakan untuk menganalisis data QAR, dan algoritma *self-encoder* dan *clustering* [15].

2.4. Labview

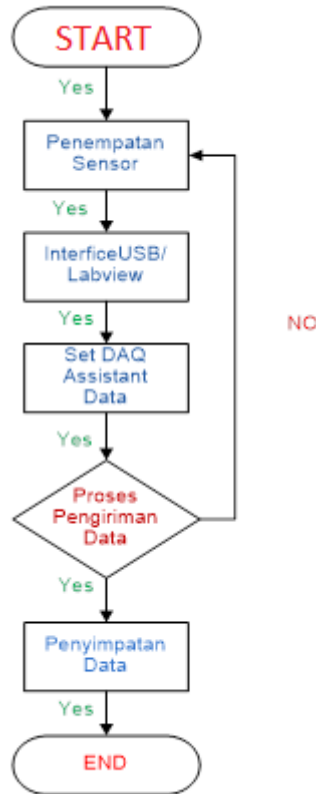
Untuk proses *coding*, platform Labview digunakan karena kecepatan motor dikendalikan oleh variasi suhu, dan rangkaian pengukuran suhu dihubungkan melalui Labview [16]. Sifat grafis Labview membuatnya lebih mudah untuk mengembangkan kode kerja lebih cepat dengan menarik dan melepaskan fungsi bawaan untuk menyederhanakan akuisisi, analisis, kontrol, dan berbagi data sehingga akan menghabiskan lebih sedikit waktu untuk kesalahan sintaks [17].

3. Metode

Metode penelitian yang dilakukan adalah studi literatur dan eksperimen. Studi literatur dilakukan dengan pengambilan data, teori-teori vibrasi dari berbagai referensi yang dilakukan pada *bearing* motor listrik dengan menggunakan akuisisi data pada NI-DAQ CompactRio untuk melihat fenomena vibrasi yang terjadi. Penelitian dilakukan di PTKRN dan PRSG-BATAN Serpong Tangerang Selatan dengan terlebih dahulu mencari area pengukuran pada motor induksi yang digunakan sebagai alat untuk pengujian *bearing*. Bahan atau peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini seperti Sensor Accelerometer (Ac/135-2C), NI MY DAQ compex Rio, 2 Motor listrik 1 phase, 4 *Bearing* 204, 2 Pillow blok / rumah *bearing*, 2 buah *adjustable voltage regulator* 1 kVA input 220 V 0-250 V dan laptop.

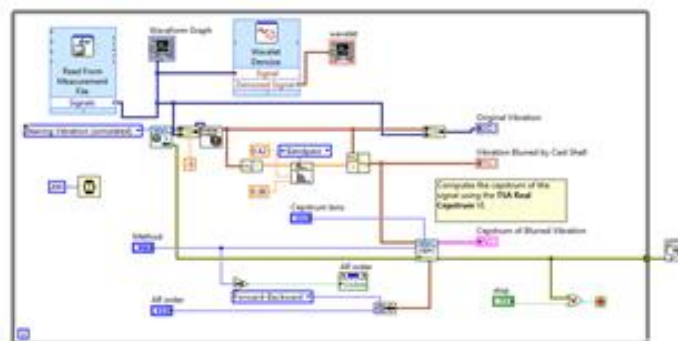
Alur penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1. Langkah pertama yaitu mencatat data motor yang akan dilakukan pengukuran untuk mencegah pengoperasian motor yang di luar batas nominalnya. Langkah kedua dilakukan prosedur *alignment*, yaitu pengukuran yang dilakukan pada saat posisi motor listrik sejajar dengan porosnya. Langkah ketiga dilakukan pengukuran getaran/vibrasi pada simulator kerusakan *bearing* menggunakan motor listrik sebagai penggerak berputarnya *bearing*, yaitu dilakukan pengukuran vibrasi

pada pillow blok *bearing* dengan sensor accelerometer. Langkah keempat yaitu dilakukan pengukuran arus, tegangan, dan daya. Setelah dilakukan pengukuran vibrasi yang terjadi pada *bearing* kemudian dilakukan juga pengukuran arus, tegangan dan daya listrik secara bersamaan untuk mengetahui fenomena yang terjadi terhadap arus, tegangan dan daya listrik bila terjadi kerusakan pada *bearing*.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Desain rangkaian program Labview yang menggunakan blok diagram untuk pengamatan vibrasi (getaran) secara langsung memiliki prinsip yang sama dengan pengamatan getaran secara tidak langsung. Untuk mempermudah dalam pengukuran suatu rangkaian berbasis software Labview dan alat instrument, maka digunakan NI My Daq Complex Rio dengan desain antar muka pada komputer. Gambar 2 menunjukkan desain antar muka secara langsung dengan komputer.



Gambar 2. Pemrograman blok diagram Labview

4. Hasil dan Pembahasan

Anlisis *bearing fault detection* ini dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran pada saat kondisi *bearing* dalam keadaan standar atau “Healthy” (sehat) dan kondisi *bearing* yang tidak standar atau “Damaged” (tidak sehat) pada motor listrik dengan menggunakan perangkat hardware NI cRio dan sensor accelerometer.

Metode pengukuran pada penelitian ini adalah dengan menempatkan sensor accelerometer pada pillow blok atau rumah *bearing* seperti ditunjukkan Gambar 3. Sensor accelerometer AC 135-2A SN:1163 digunakan untuk mendeteksi vibrasi atau kerusakan *bearing* pada motor listrik. Penempatan sensor pada rumah *bearing* dilakukan karena setelah dilakukan pengukuran pada beberapa lokasi motor listrik, ternyata vibrasi paling besar yang dihasilkan oleh sensor ditempatkan pada rumah *bearing* pada sambungan antara ke dua kopleng.

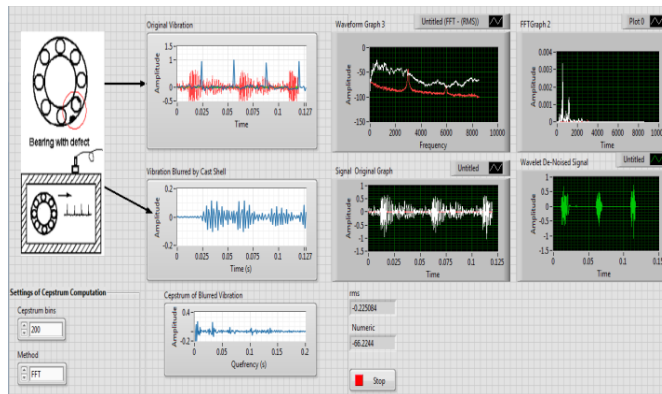


Gambar 3. Penempatan sensor accelerometer di *pillow block bearing*

Keluaran sensor dilewatkan melalui NI compactRIO untuk selanjutnya diolah menggunakan software LabVIEW. LabVIEW akan mengubah sinyal sumber tegangan menjadi domain frekuensi-waktu menggunakan analisis wavelet. Pengukuran dilakukan saat *misalignment*. Analisa data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran saat *alignment* dengan metode wavelet. Selain pengukuran vibrasi kerusakan *bearing* pada motor listrik, dilakukan juga pengukuran putaran/(RPM), tegangan, arus motor listrik, seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Parameter yang diukur pada kondisi *alignment* akan dibandingkan dengan beban yang akan diatur menggunakan *voltage regulator* sebagai pengatur tegangan.

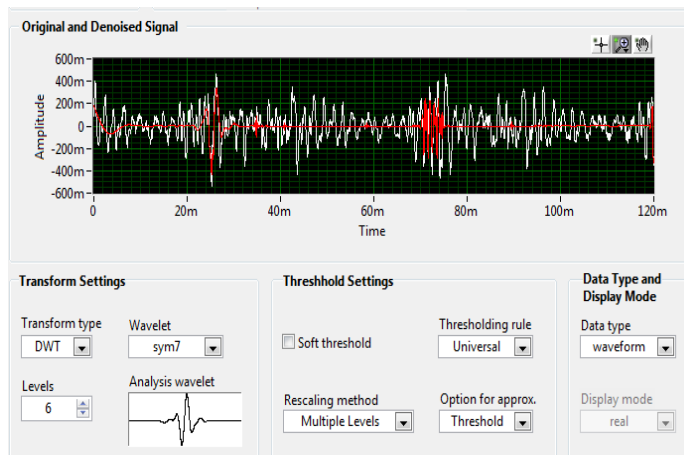
Tabel 1. Uji vibrasi *vearing* normal dengan beban *coupling*

| No | Beban Tegangan | Bearing | Tegangan Input | RPM |
|----|----------------|---------|----------------|------|
| 1 | 50 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 2 | 75 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 3 | 100 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 4 | 125 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 5 | 150 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 6 | 175 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 7 | 200 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 8 | 225 V | Normal | 220 V | 1450 |
| 9 | 150 V | Normal | 220 V | 1450 |



Gambar 4. Uji vibrasi bearing normal saat diberi beban 50 Volt

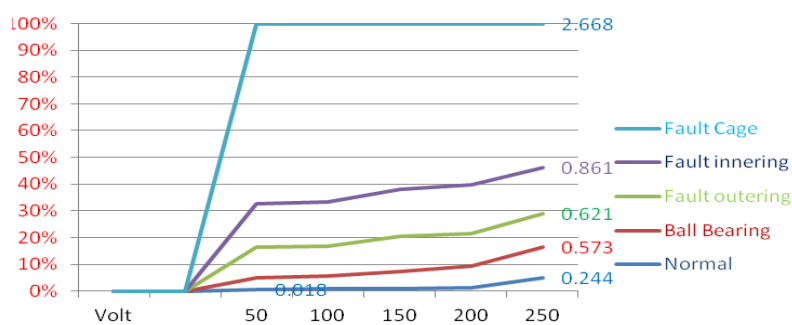
Gambar 4 menunjukkan hasil monitoring bearing normal yang di-coupling dengan beban tegangan 50 volt. Terlihat sinyal amplitudo terhadap waktu ditunjukkan oleh sinyal warna merah, dengan sumbu horizontal menunjukkan perubahan waktu dalam satuan ms (millisecond) dan sumbu vertikal menunjukkan nilai tegangan dalam satuan volt. Terlihat juga bahwa sinyal amplitudo terbesar terdeteksi oleh sinyal berwarna biru. Sinyal tersebut akan difilter menggunakan metode wavelet menggunakan program Labview seperti ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Sinyal bearing fault detection yang difilter

Tabel 2. Data uji vibrasi bearing

| Tegangan Regulator (V) | Bearing Normal (dB) | Ball Bearing (dB) | Fault Outer Ring (dB) | Fault Inner Ring (dB) | Fault Cage (dB) |
|------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 50 | 0,018 | 0,151 | 0,375 | 0,545 | 2,235 |
| 100 | 0,026 | 0,173 | 0,405 | 0,582 | 2,387 |
| 150 | 0,041 | 0,249 | 0,504 | 0,685 | 2,425 |
| 200 | 0,056 | 0,327 | 0,511 | 0,746 | 2,501 |
| 250 | 0,244 | 0,573 | 0,621 | 0,861 | 2,668 |



Gambar 6. Grafik data uji vibration bearing berdasarkan beban tegangan

Dari hasil yang ditunjukkan Tabel 2 dan Gambar 6, dapat dijelaskan bahwa perbedaan uji vibrasi sangat jelas antara bearing normal dengan kerusakan bearing yang telah dimodifikasi yaitu dengan dirusaknya beberapa bagian bearing seperti ball bearing, outer ring, inner ring dan fault cage. Grafik berwarna biru menunjukkan bearing dalam keadaan normal dengan nilai tegangan 50 Volt, di mana memiliki amplitude getaran sama dengan 0,018 dB. Sinyal berwarna merah menunjukkan kerusakan pada ball bearing yang telah dimodifikasi tingkat kerusakannya dan diberi beban tegangan 50 Volt sampai 250 volt, di mana memiliki nilai 0,573 dB atau setara dengan kerusakan ball bearing sebesar 10% sampai 15%. Kemudian kerusakan bearing pada bagian outer ring yaitu kerusakan luar cincin bearing yang ditunjukkan sinyal berwarna hijau dengan diberi beban tegangan 50 Volt samapi 250 Volt. Terlihat pengukuran vibrasi menunjukkan nilai 0,621 dB mempunyai nilai kerusakan mencapai 20% sampai 30% kerusakan pada bagian luar bearing atau fault outer ring.

Kerusakan inner ring yaitu kerusakan pada bagian dalam cincin bearing ditunjukkan oleh sinyal atau grafik berwarna ungu dengan nilai 0,861 dB, atau setara dengan nilai kerusakan bearing 40% sampai 50% dengan diberi beban tegangan 50 volt sampai dengan tegangan 250 volt. Dan data hasil uji vibrasi kerusakan bearing yang terakhir adalah kerusakan bearing pada bagian cage (rumah ball bearing) yang ditunjukkan oleh sinyal atau gambar grafik berwarna violet. Saat diberi beban dengan tegangan 250 volt, sinyal menunjukkan perubahan nilai 2,668 dB, yang setara dengan kerusakan nilai 90% sampai 100 % pada bagian cage. Pada Gambar 6 di atas dapat dijelaskan bahwa data uji vibrasi bearing normal terletak pada posisi garis terendah yang memiliki nilai 0,018 dB saat di beri beban tegangan 50 Volt. Sedangkan kerusakan/cacat pada garis level tertinggi terletak pada bagian cage yaitu bagian rumah ball bearing dengan nilai 2,668 dB saat diberi beban tegangan 250 Volt di mana terjadi lonjakan yang sangat signifikan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari proses pengujian data vibrasi dan analisis dapat disimpulkan bahwa dengan metode analisis transformasi wavelet mampu mendeteksi kerusakan pada bearing dengan sangat jelas perbedaan bearing normal dan bearing dalam kondisi rusak pada motor listrik dengan mendekomposisi pada sinyal. Terlihat bahwa kerusakan bearing pada bagian cage memiliki level paling atas dengan data 2,668 dB, atau setara dengan nilai 90% sampai 100 % kerusakan yang dialami pada bearing saat diberi beban 50 - 250 volt. Pada bearing dengan kondisi normal, nilai puncak yang dihasilkan sangat rendah yang cenderung memiliki nilai 0,018 db atau setara

dengan nilai 0 % sampai 10 %. Variasi level pembebanan pada arus tidak mempengaruhi pendeteksian secara signifikan namun dapat meningkatkan nilai amplitudo.

Daftar Pustaka

- [1] M. Pradeep et al, "Recognition of fault and security of three phase induction motor by means of programmable logic controller". *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 623 012017, 2019.
- [2] Saidur, R. A, "Review on Electrical Motors Energy Use and Energy Savings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 877-898, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018>.
- [3] Nandi, S., Toliya, H. and Li, X., "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electric Motors—A Review," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20, pp. 719-729, 2010. <https://doi.org/10.1109/TEC.2005.847955>
- [4] Li, D.Z., Wang, W. and Ismail, F., "A Spectrum Synch Technique for Induction Motor Health Condition Monitoring," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 30, 1348-1355, 2015. <https://doi.org/10.1109/TEC.2015.2454440>
- [5] Naha, A., et al., "A Method for Detect Half-Broken Rotor Bar in Lightly Loaded Induction Motors Using Current," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 65, pp. 1614-1625, 2016. <https://doi.org/10.1109/TIM.2016.2540941>.
- [6] Shenbo Yu and Renyuan Tang, "Electromagnetic and mechanical characterizations of noise and vibration in permanent magnet synchronous machines," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, no. 4, pp. 1335-1338, April 2006, doi: 10.1109/TMAG.2006.871637.
- [7] T. Asami and H. Miura, "Study of ultrasonic machining using longitudinal and torsional vibration," *2015 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/ULTSYM.2015.0527.
- [8] B. Li, Y. Wei, X. Mao, K. Mao, H. Liu and H. Tian, "A Novel Vibration Exciting Method for NC Machine Tools," *2010 International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization*, 2010, pp. 45-48, doi: 10.1109/ICSEM.2010.101.
- [9] Shenbo Yu, Pingping Pan, Huijun Wang, Lixiang Chen and Renyuan Tang, "Investigation on noise and vibration origin in permanent magnet electrical machine for elevator," *2005 International Conference on Electrical Machines and Systems*, 2005, pp. 330-333 Vol. 1, doi: 10.1109/ICEMS.2005.202540.
- [10] P. Han, G. Heins, D. Patterson, M. Thiele and D. M. Ionel, "Modeling of Bearing Voltage in Electric Machines Based on Electromagnetic FEA and Measured Bearing Capacitance," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 57, no. 5, pp. 4765-4775, Sept.-Oct. 2021, doi: 10.1109/TIA.2021.3092700.
- [11] M. Singh and A. G. Shaik, "Location of Defective Bearing in Three-Phase Induction Motor Using Stockwell Transform and Support Vector Machine," *2018 2nd International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology (ICEPE)*, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPETSG.2018.8658606.
- [12] B. Belkacemi and S. Saad, "Bearing various defects diagnosis and classification using super victor machine (SVM) method," *2021 International Conference on Information Systems and Advanced Technologies (ICISAT)*, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICISAT54145.2021.9678444.

- [13] W. Feng, W. Yan, S. Wu and N. Liu, "Wavelet transform and unsupervised machine learning to detect insider threat on cloud file-sharing," *2017 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI)*, 2017, pp. 155-157, doi: 10.1109/ISI.2017.8004896.
- [14] A. K. Saydjari and D. P. Finkbeiner, "Equivariant Wavelets: Fast Rotation and Translation Invariant Wavelet Scattering Transforms," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, doi: 10.1109/TPAMI.2022.3165730.
- [15] Q. Sun and R. Ji, "Flight characteristic analysis model based on QAR data, wavelet transform and machine learning," *2021 IEEE 3rd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)*, 2021, pp. 1256-1259, doi: 10.1109/ICCASIT53235.2021.9633598.
- [16] K. R. Asha, P. S. Tasleem, A. V. Ravi Kumar, S. M. Swamy and K. R. Rekha, "Real Time Speed Control of a DC Motor by Temperature Variation Using LabVIEW and Arduino," *2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)*, 2017, pp. 72-75, doi: 10.1109/ICRAECT.2017.50.
- [17] D. Ursutiu, C. Samoila and V. Jinga, "Creative developments in LabVIEW student training: (Creativity laboratory – LabVIEW academy)," *2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17)*, 2017, pp. 309-312, doi: 10.1109/EXPAT.2017.7984399.

This Page Intentionally Left Blank