

Transformasi Wavelet Daubechis dan Fuzzy Subspace Clustering untuk Klasifikasi Misalignment pada Motor Induksi

Pressa Perdana Surya Saputra

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik

Jl. Sumatera No. 101 GKB Gresik 61121, Jawa Timur, Indonesia

Email: pressa@umg.ac.id

Submitted: 29/09/2021; Accepted: 10/10/2021; Published: 30/10/2021

Abstrak—Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan karena kokoh dan murah. Namun, seiring beroperasi motor induksi, kerusakan mekanik akan terjadi, salah satunya adalah kerusakan bearing. Kerusakan bearing bisa mencapai 50% dibandingkan dengan jenis kerusakan lainnya. Penyebabnya antara lain adalah misalignment saat memasang motor dengan beban atau getaran saat motor beroperasi. Dalam penelitian ini, fenomena misalignment akan diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerusakannya. Skenario tingkat kerusakan adalah misalignment 1mm dan 1,5mm. Getaran dari motor normal dan motor misalignment akan diambil menggunakan sensor getaran, kemudian sinyal getaran akan ditransformasikan menggunakan transformasi wavelet Daubechis. Keluaran berupa sinyal frekuensi tinggi dari transformasi wavelet Daubechis akan diekstraksi berdasarkan sum, range, dan energi sinyal tersebut. Kemudian, performansi dari metode Fuzzy Subspace Clustering akan diketahui setelah dilakukan pengujian data. Sebagai perbandingan apakah metode Fuzzy Subspace Clustering dapat mengklasifikasikan kondisi motor induksi dengan baik, maka akan dibandingkan dengan metode K-Mean. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi Fuzzy Subspace Clustering atau K-Means dan transformasi wavelet Daubechis tingkat pertama menghasilkan klasifikasi terbaik dengan akurasi 95,83%.

Kata Kunci: Fuzzy Subspace Clustering; K-Mean; Transformasi Wavelet Daubechis; Misalignment; Motor Induksi

Abstract— Induction motors are the most widely used motors because they are sturdy and inexpensive. However, as the induction motor operates, mechanical damage will occur, one of which is bearing damage. Bearing damage can reach 50% compared to other types of damage. The causes include misalignment when installing the motor with a load or vibration when the motor is operating. In this study, the misalignment phenomenon will be classified based on the level of damage. The damage scenario is 1mm and 1.5mm misalignment. Vibration from normal motor and motor misalignment will be taken using a vibration sensor, then the vibration signal will be transformed using Daubechis wavelet transform. The output in the form of a high frequency signal from the Daubechis wavelet transform will be extracted based on the sum, range, and energy of the signal. Then, the performance of the Fuzzy Subspace Clustering method will be known after testing the data. As a comparison whether the Fuzzy Subspace Clustering method can classify induction motor conditions well, it will be compared with the K-Mean method. The results showed that the combination of Fuzzy Subspace Clustering or K-Means and the first-level Daubechis wavelet transform resulted in the best classification with an accuracy of 95.83%.

Keywords: Fuzzy Subspace Clustering; K-Mean; Transformasi Wavelet Daubechis; Misalignment; Induction Motor

1. PENDAHULUAN

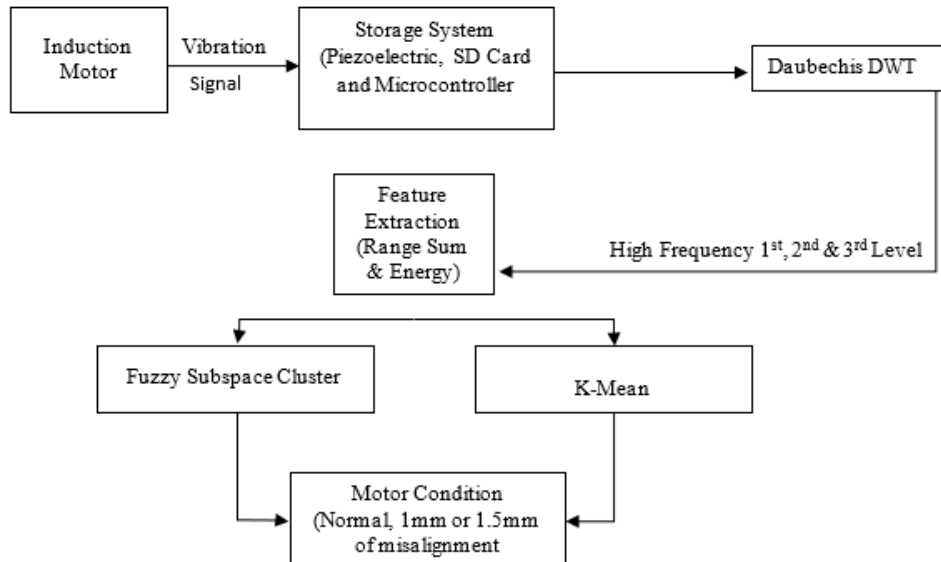
Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan karena kokoh, murah, efisiensi tinggi, dan pengoperasian yang mudah menjadikan motor induksi paling diminati [1-2]. Kebanyakan pabrik memiliki kondisi kotor, lembab, panas, dll, yang dapat menurunkan kondisi motor. Untuk menghindari penurunan kondisi motor yang signifikan, diperlukan perawatan berkala melalui kegiatan perawatan preventif. Berdasarkan data penelitian, kerusakan mekanis merupakan kerusakan yang paling sering terjadi. Salah satu kerusakan mekanis adalah kerusakan bantalan yang mencapai 50% dibandingkan jenis kerusakan lainnya [3-8]. Kerusakan pada bearing ini dapat menyebabkan downtime di pabrik yang membuat kerugian besar bagi perusahaan karena tidak tercapainya target produksi. Hal ini sangat ironis karena harga bearing yang cukup murah. Penyebab kerusakan bantalan antara lain kesalahan pemasangan, kurangnya pelumasan, dan kesalahan produksi pabrik. Pemasangan yang salah menyebabkan misalignment antara poros motor dan beban motor [9].

Sebelumnya, operator mengecek langsung dengan melihat motor apakah ada misalignment atau tidak. Namun cara ini harus mematikan motor sehingga bisa mengganggu produksi. Sehingga perlu dicari cara lain yang lebih akurat dan praktis dalam mengecek kondisi motor. Salah satunya dengan memantau kondisi motor saat ini (Motor Current Signature Analysis/MCSA). Karena MCSA yang memproses data menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) [10-11], hanya berdasarkan analisis arus motor untuk mendeteksi kerusakan motor induksi, metode ini tidak cocok untuk kasus yang tidak berdampak langsung pada arus motor, seperti kerusakan pada motor. Analisis ini telah diteliti dan dibandingkan dengan analisis vibrasi motor [12], yang ternyata keduanya menghasilkan pola yang serupa, namun tanpa menggunakan metode klasifikasi.

Pada penelitian ini, dengan mengolah data getaran motor menggunakan transformasi wavelet Daubechis 1-5 pada level pertama-ketiga, fenomena misalignment akan dideteksi menggunakan metode Fuzzy Subspace Clustering. Sebagai masukan dari Fuzzy Subspace Clustering, hasil transformasi wavelet berupa sinyal frekuensi tinggi dari motor normal, motor dengan misalignment 1mm dan 1,5mm, akan diekstraksi menjadi sum, range, dan energi sinyal. Sebagai perbandingan, ditampilkan metode K-Mean sehingga akurasi dari masing-masing metode dapat diuji dalam sistem ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

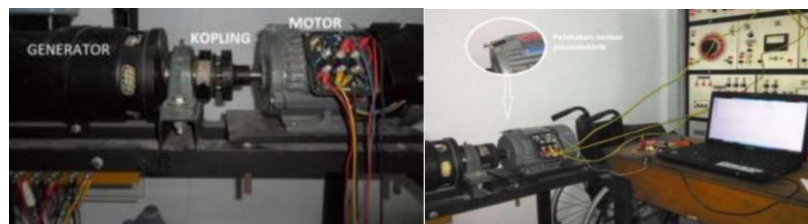
Gambar 1 di bawah ini menunjukkan proses pendeteksian misalignment pada motor induksi. Sensor piezoelektrik mengambil getaran motor untuk disimpan dalam perangkat penyimpanan. Kasus misalignment yang akan di skenario adalah motor dengan misalignment 1.5mm dan 1mm dan motor normal. Data getaran motor kemudian ditransformasikan menggunakan wavelet Daubechis 1-5 pada level pertama-ketiga, kemudian sinyal frekuensi tinggi dari transformasi wavelet diekstraksi berdasarkan sum, range, dan energi sinyal. Fuzzy Subspace Clustering dan K-Means akan mengelompokkan sinyal-sinyal ini ke dalam kategori motor dengan misalignment 1.5mm dan 1mm dan motor normal.



Gambar 1. Proses Klasifikasi Misalignment pada Motor Induksi

2.1 Persiapan Percobaan

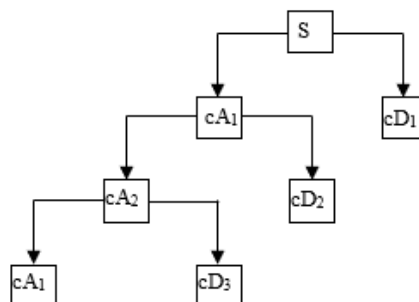
Gambar 2(a) dan (b) di bawah ini menunjukkan proses pengambilan data getaran dari motor. Sebagai beban, generator dikopel dengan motor induksi. Selanjutnya, skenario misalignment diterapkan pada koneksi antara generator dan motor. Sensor piezoelektrik akan menangkap sinyal getaran motor dan menyimpannya dalam perangkat penyimpanan, yang selanjutnya akan diproses menggunakan transformasi wavelet dan Fuzzy Subspace Clustering pada komputer.



Gambar 2. (a). Skema Fenomena Getaran (b). Pengambilan Getaran Motor

2.2 Dekomposisi Transformasi Wavelet

Transformasi wavelet digunakan dalam penelitian ini dengan alasan transformasinya yang mudah dan telah banyak diterapkan dalam pemrosesan sinyal.



Gambar 3. Dekomposisi Tingkat 3

Prosesnya dimulai dengan melewati sinyal getaran motor ke filter LPF dan HPF. Sinyal detail (cD) dan sinyal aproksimasi (cA) akan dihasilkan dari proses tersebut. Sinyal tersebut memiliki jumlah data sebanyak setengah dari data asli/data awal. Proses ini disebut proses dekomposisi tingkat pertama. Selanjutnya sinyal aproksimasi (cA) akan diteruskan kembali ke filter HPF dan LPF dan akan menghasilkan cA dan cD pada level berikutnya. Tahap ini disebut proses dekomposisi tingkat kedua. Proses ini akan berulang sampai tingkat dekomposisi yang diinginkan seperti ditunjukkan pada Gambar 3 [13-14].

2.3 Ekstraksi Fitur

Sinyal frekuensi tinggi yang dihasilkan dari dekomposisi tingkat pertama - ketiga kemudian akan diekstraksi berdasarkan sum, range, dan energi. Range berarti perbedaan antara nilai maksimum dan minimum dari sinyal. Rumus Range adalah

Range = Rentang = Nilai maksimum – nilai minimum sinyal (1)

sedangkan Sum adalah jumlah mutlak dari suatu range sinyal tertentu yang dirumuskan (2) sebagai berikut:

Sum = sum_{n=1}^{n=k} |d(n)| (2)

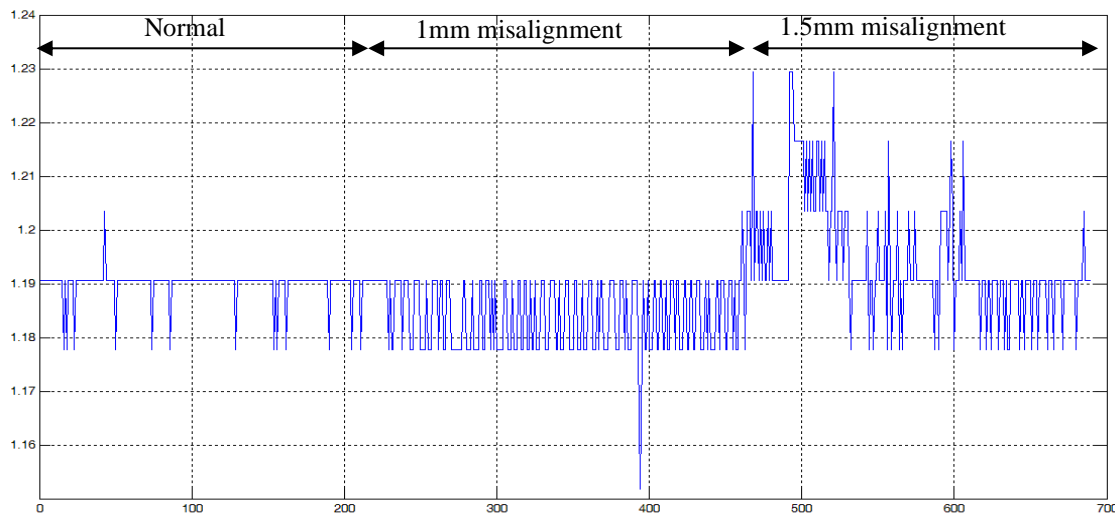
Selanjutnya, tingkat energi sinyal adalah jumlah kuadrat dari komponen sinyal, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (3) [15-18]:

e = sum_{n=1}^{n=k} (d(n))^2 (3)

Ekstraksi ciri kemudian dianalisa menggunakan metode yang telah ditentukan untuk mengetahui keadaan motor induksi apakah dalam keadaan normal, keadaan misalignment 1mm, atau keadaan misalignment 1,5mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan data dari getaran motor. Getaran motor yang ditangkap adalah getaran motor normal, dan motor dengan ketidaksejajaran 1mm dan 1,5mm.

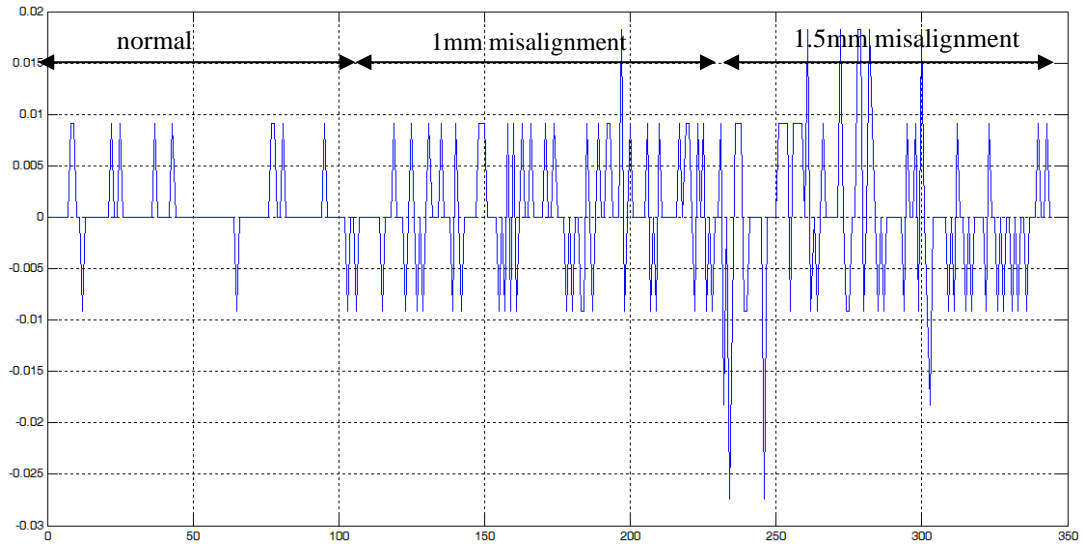


Gambar 4. Dekomposisi Tingkat 3

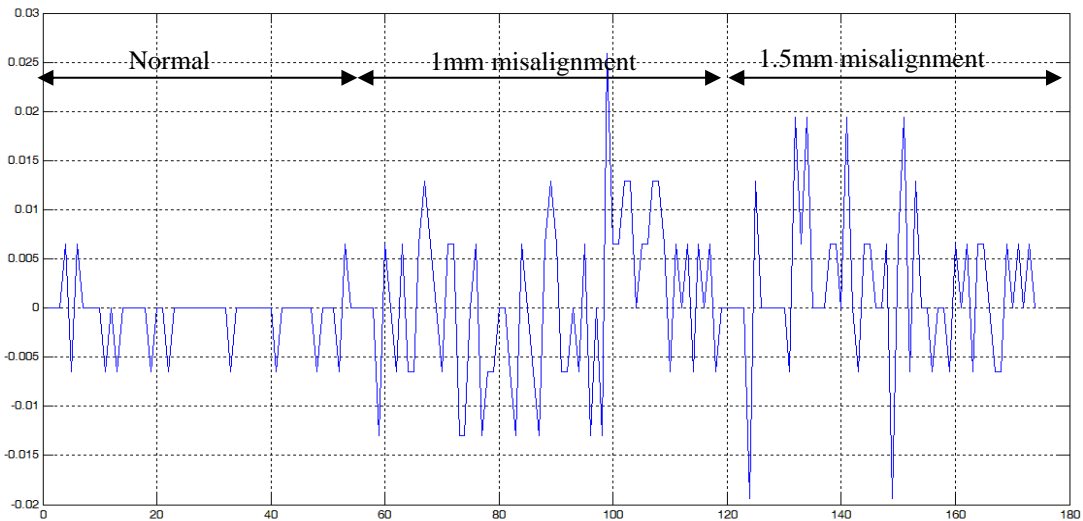
Kita dapat melihat bahwa sinyal motor dalam kondisi normal memiliki nilai data yang renggang dan bernilai rendah. Ketika ada misalignment 1mm, grafik menjadi lebih ketat dan terkadang ada lonjakan. Selain itu, misalignment 1,5 mm menghasilkan grafik yang rapat dan bernilai tinggi.

3.1 Transformasi Wavelet Daubechies

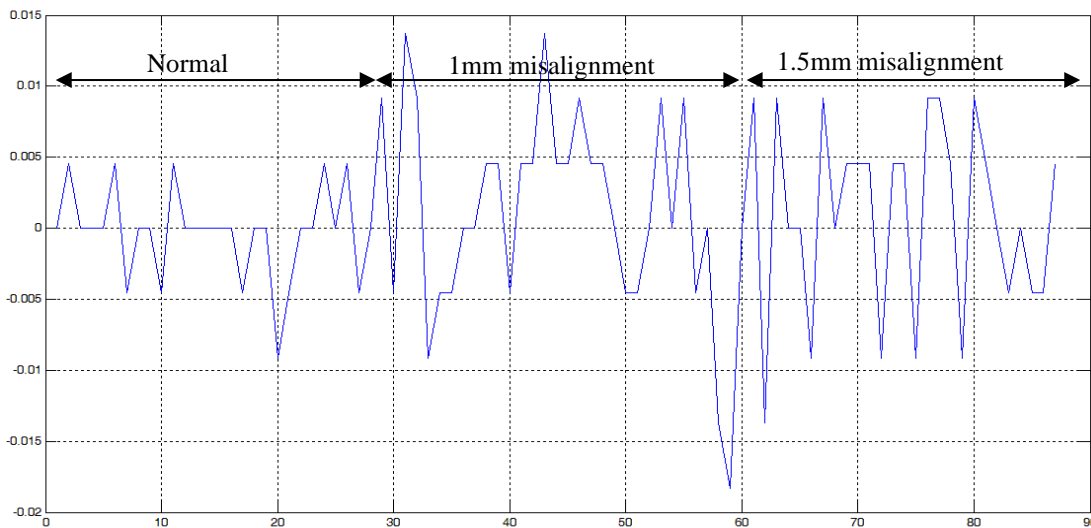
Kemudian, transformasi wavelet Daubechies akan menyaring data getaran tersebut. Dalam penelitian ini, hanya sinyal frekuensi tinggi/sinyal detail (cD) pada level 1 hingga level 3 yang akan digunakan. Hasil transformasi sinyal dari transformasi wavelet Daubechies pada sinyal frekuensi tinggi ditunjukkan pada Gambar. 5-7 di bawah.



Gambar 5. Transformasi Wavelet Daubechis 1 Tingkat Pertama



Gambar 6. Transformasi Wavelet Daubechis 1 Tingkat Kedua



Gambar 7. Transformasi Wavelet Daubechis 1 Tingkat Ketiga

Kurva tersebut merupakan sinyal detail dari transformasi wavelet Daubechis 1 dari level 1 ke level 3. Daubechis 1-5 digunakan dalam analisis ini. Selanjutnya dari masing-masing wavelet Daubechi akan difilter untuk

mengambil sinyal detailnya. Hasil sinyal detail tidak dapat langsung digunakan untuk analisis, sehingga perlu dilakukan ekstraksi fitur untuk mencari pola.

2.2 Ekstraksi Fitur

Tabel 1 berikut adalah keluaran ekstraksi ciri dari sinyal detail transformasi wavelet Daubechis 1-5 pada level 1 hingga 3. Ekstraksi ciri yang diambil adalah sum, range dan energi dari sinyal. Data ini kemudian dianalisis menggunakan metode Fuzzy Subspace Clustering dan K-Means.

Tabel 1. Ekstraksi Fitur Transformasi Wavelet Daubechis 1

	Daubechis 1								
	Level 1			Level 2			Level 3		
	Sum	Range	Energy	Sum	Range	Energy	Sum	Range	Energy
Normal	0.1739	0.0183	0.0016	0.1100	0.0129	0.0007	0.0686	0.0092	0.0003
	0.1281	0.0183	0.0012	0.0776	0.0129	0.0005	0.0549	0.0092	0.0003
	0.2105	0.0183	0.0019	0.1359	0.0194	0.0010	0.0595	0.0137	0.0003
1mm	0.4209	0.0183	0.0039	0.2847	0.0259	0.0026	0.1739	0.0275	0.0016
	0.4941	0.0275	0.0047	0.3559	0.0259	0.0035	0.1235	0.0183	0.0009
	0.4118	0.0183	0.0038	0.3624	0.0259	0.0034	0.1556	0.0275	0.0015
1.5mm	0.5399	0.0549	0.0070	0.3429	0.0453	0.0038	0.1601	0.0229	0.0013
	0.6223	0.0824	0.0099	0.3106	0.0324	0.0028	0.2471	0.0549	0.0043
	0.5673	0.0641	0.0095	0.3106	0.0388	0.0036	0.2013	0.0366	0.0024

Secara visual, hasil ekstraksi ciri akan menunjukkan pola dari nilai sum, range dan energi sinyal motor misalignment dibandingkan dengan motor normal. Akan tetapi, untuk mempermudah dalam menganalisis data tersebut dan agar hasil yang diperoleh lebih valid, maka dalam melakukan analisis harus digunakan suatu metode. Dalam penelitian ini digunakan metode clustering yaitu Fuzzy Subspace Clustering dan K-mean.

2.2 Fuzzy Subspace Cluster

Data masukan Fuzzy Subspace Clustering berjumlah 12 data latih untuk masing-masing misalignment 1.5mm dan 1mm dan motor normal. Jadi, jumlah data latih yang digunakan adalah 36 data. Sedangkan data pengujian adalah 8 data untuk masing-masing 1.5mm dan 1mm misalignment dan motor normal. Jadi, total data uji berjumlah 24 data. Pada penelitian ini, keluaran Fuzzy Subspace Clustering akan dibandingkan dengan K-Means untuk menentukan metode yang paling tepat untuk kasus misalignment pada motor. Penelitian ini menggunakan Matlab untuk melakukan Fuzzy Subspace Clustering dan K-Means. Tabel 2 merupakan hasil akurasi Fuzzy Subspace Clustering dan K-Means.

Tabel 2. Ekstraksi Fitur Transformasi Wavelet Daubechis 1

	Level 1		Level 2		Level 3	
	FCM(%)	K-Mean (%)	FCM (%)	K-Mean (%)	FCM (%)	K-Mean (%)
Db 1	87.50	87.50	83.33	83.33	95.83	95.83
Db 2	87.50	87.50	66.67	66.67	87.50	87.50
Db 3	95.83	95.83	70.83	70.83	83.33	83.33
Db 4	95.83	95.83	95.83	95.83	87.50	87.50
Db 5	95.83	95.83	58.33	95.83	91.67	95.83

Tabel hasil penelitian yang telah dilakukan terdiri dari 15 hasil dari Fuzzy Subspace Clustering dan 15 hasil dari K-means. Ke-15 hasil tersebut merupakan hasil dari transformasi wavelet Daubechis 1-5 pada level 1 hingga 3. Dari hasil penelitian pada tabel di atas dapat dilihat bahwa akurasi yang diperoleh dari Fuzzy Subspace Clustering dan K-Means menggunakan transformasi wavelet Daubechis memiliki nilai yang bervariasi.

Dapat kita lihat bahwa Fuzzy Subspace Clustering dan K-Means dalam hal ini hampir semuanya menghasilkan nilai akurasi yang sama. Dalam hal ini metode Fuzzy Subspace Clustering dalam penggunaan Db5 pada level kedua dan ketiga menghasilkan nilai akurasi yang lebih buruk. Namun pada saat simulasi, metode K-Means terkadang perlu dijalankan beberapa kali karena menghasilkan output yang buruk. Hasil akurasi kedua metode dari level kedua memiliki nilai yang bervariasi, terkadang memiliki nilai yang baik (95,83%) dan terkadang memiliki nilai yang buruk (58,33%). Sedangkan transformasi wavelet Daubechis level ketiga menghasilkan nilai yang cukup baik, namun bervariasi (83,33% - 95,83%). Namun, hasil akurasi yang lebih baik (87,50 - 95,83) dihasilkan oleh transformasi wavelet Daubechi orde pertama, terutama menggunakan Db3, Db4 dan Db5.

Dan terakhir, dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa transformasi wavelet Daubechis khususnya dengan Db4 dan Db5 pada level pertama merupakan pengolahan data yang paling akurat pada kasus misalignment motor induksi dibandingkan level lainnya. Selain itu, Fuzzy Subspace Clustering dan K-means dalam hal ini menghasilkan nilai akurasi yang sama.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membahas tentang klasifikasi misalignment pada motor induksi dengan transformasi wavelet Daubechis pada level pertama sampai ketiga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi wavelet Daubechis tingkat kedua menghasilkan nilai akurasi yang rendah dan bervariasi. Dan akurasi terbaik dihasilkan oleh transformasi wavelet Daubechis, terutama dengan Db4 dan Db5, pada level pertama. Selain itu, dalam hal ini penggunaan metode Fuzzy Subspace Clustering dan K-means menghasilkan nilai akurasi yang sama. Penelitian ini masih perlu dilanjutkan dengan menggunakan lebih banyak data untuk mencapai kesimpulan yang lebih akurat karena hasil klasifikasi yang dicapai dalam pekerjaan ini masih sangat bervariasi.

REFERENCES

- [1] Chourasia, A., Salunke, S., & Saxena, V. (2013). Efficiency Optimization of Three Phase Induction Motor by Slip Compensation: A Review. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 1(4), 308–314. <https://doi.org/10.12720/ijeee.1.4.308-314>
- [2] Saputra, P. P. S., Firmansyah, R., & Irawan, D. (2019). Various and multilevel of coiflet discrete wavelet transform and quadratic discriminant analysis for classification misalignment on three phase induction motor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1367(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012049>
- [3] Harmouche, J., Delpha, C., & Diallo, D. (2015). Improved fault diagnosis of ball bearings based on the global spectrum of vibration signals. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 30(1), 376–383. <https://doi.org/10.1109/TEC.2014.2341620>
- [4] O. V. Thorsen and M. Dalva, "Failure identification and analysis for high voltage induction motors in the petrochemical industry," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 35, no. 4, pp. 810–818, 1999.
- [5] Saputra, P. P. S., Misbah, Ariwinarno, H., & Muriyanto, F. D. (2020). Various and multilevel of wavelet transform for classification misalignment on induction motor with quadratic discriminant analysis. *Telkomika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(2), 961–969. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V18I2.14827>
- [6] EPRI, "Improved motors for utility applications," Publication EL-2678-V1, final report, 1982.
- [7] D. A. Asfani, P. P. Surya Saputra, I. M. Yulistya Negara, I. G. N. Satriyadi Hernanda and R. Wahyudi, "Simulation analysis on high impedance temporary short circuit in induction motor winding," 2013 International Conference on QIR, Yogyakarta, 2013, pp. 202–207. doi: 10.1109/QiR.2013.6632565
- [8] Tag, Æ. M. E. (2005). Bearing and misalignment fault detection in induction motors by using the space vector angular fluctuation signal, 197–206. <https://doi.org/10.1007/s00202-004-0242-6>
- [9] A. Starr B.K.N. Rao. Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. *Proceedings of the 14th International Congress*. Elsevier, 2001.
- [10] Jee-Hoon Jung, Lee Jong-Jae, Bong-Hwan Kwon, Online Diagnosis of Induction Motors Using MCSA, *IEEE Trans. Ind. Electron.* 53 (6) (2006) 1842–1852.
- [11] G. Acosta, C. Verucchi, E. Celso, A current monitoring system for diagnosing electrical failures in induction motors, *Mech. Syst. Signal Process.* 20 (4)(2006) 953–965
- [12] R. Obaid, T. Hableter, Effect of Load on Detecting Mechanical Faults in Small Induction Motors, in: *Proceedings of Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED 2003*, Atlanta, 2003, pp. 307–311
- [13] Ramana, D. V., Baskar, S., & Info, A. (2017). Incipient Fault Detection of the Inverter Fed Induction Motor, 8(2), 722–729. <https://doi.org/10.11591/ijped.v8i2.pp722-729>
- [14] Saputra, P. P. S., Misbah, Eliyani, R. Firmansyah, D. Lastomo. (2019). "Haar and Symlet Discrete Wavelet Transform for Identification Misalignment on Three Phase Induction Motor Using Energy Level and Feature Extraction." *Journal of Physics: Conference Series* 1179: 012093
- [15] Anton Asfani, Dimas & Yulistya Negara, I Made & Surya, Pressa. (2015). Short Circuit Detection in Stator Winding Of Three Phase Induction Motor Using Wavelet Transform and Quadratic Discriminant Analysis. 361–366. [10.12792/icisip2015.068](https://doi.org/10.12792/icisip2015.068).
- [16] C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, D. A. Asfani and I. M. Y. Negara, "Fault classification in transformer using low frequency component," 2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA), Hiroshima, 2017, pp. 199–202. doi: 10.1109/IWCIA.2017.8203584
- [17] P. P. S. Saputra, F. D. Muriyanto, R. Firmansyah and K. Widarsono, "Combination Of Quadratic Discriminant Analysis And Daubechis Wavelet For Classification Level Of Misalignment On Induction Motor," 2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISESD.2019.8909431.
- [18] Cao, X., Zhou, S., Li, J., & Zhang, S. (2016). Fault Diagnosis in Medium Voltage Drive Based on Combination of Wavelet Transform and Support Vector Machine, 14(4), 1284–1291. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v14i4.4033>