

DETEKSI *MISALIGNMENT* PADA MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN TRANSFORMASI *WAVELET DISKRIT* DAN *FUZZY SUBSPACE CLUSTER*

Muhammad Chanif Muslich¹, Pressa Perdana S.S², Rini Puji astutik³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra No 101, Gresik 61121, Jawa Timur, Indonesia
E-mail: ¹mchanif6@gmail.com, ²Pressa@umg.ac.id, ³astutik_rpa@umg.ac.id

ABSTRAK

Saat ini motor induksi banyak digunakan dalam industri karena konstruksi yang kuat, efisiensi tinggi, dan perawatan yang murah. Perawatan mesin diperlukan untuk memperpanjang umur motor induksi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kesalahan bearing dapat menyebabkan 42% - 50% dari semua kegagalan motor. Secara umum ini disebabkan oleh kesalahan produksi, kurangnya pelumasan, dan kesalahan pemasangan. *Misalignment* motor adalah salah satu kesalahan dalam pemasangan. Penelitian ini berkaitan dengan simulasi transformasi wavelet diskrit untuk mengidentifikasi *misalignment* pada motor induksi. Pemodelan operasi motor diperkenalkan dalam makalah ini sebagai operasi normal dan dua variasi *misalignment*. Transformasi *wavelet haar* dan *symlet* pada level pertama hingga level ketiga digunakan untuk mengekstrak sinyal getaran motor menjadi sinyal frekuensi tinggi. Kemudian, sinyal energi dan ekstrak sinyal lain yang didapat dari sinyal frekuensi tinggi dievaluasi untuk menganalisis kondisi motor. Proses evaluasi ini menggunakan logika *fuzzy* berjenis *fuzzy subspace cluster*. Hasil penelitian dengan metode kombinasi pengolahan sinyal berupa DWT dan metode kecerdasan buatan jenis *fuzzy subspace cluster*, maka terjadinya *misalignment* pada motor induksi tiga fasa dapat dideteksi lebih dini. Sehingga perawatan dan penggantian dapat diantisipasi sebelum terjadi *misalignment*. Dari hasil eksperimen, diperoleh untuk uji ketahanan motor dan kopling untuk level 1 metode *fuzzy c-mean* lebih baik yaitu 0,88% dibandingkan metode *fuzzy subspace cluster* sebesar 0,75%.

Kata kunci : motor induksi, induksi, DWT, *fourier*, Fuzzy, FSC

ABSTRACT

Currently induction motors are widely used in industry because of their strong construction, high efficiency, and low maintenance. Machine maintenance is necessary to extend the life of the induction motor. Based on previous research, bearing faults can cause 42% - 50% of all motor failures. Generally this is caused by manufacturing errors, lack of lubrication and installation errors. Motor misalignment is one of the errors in installation. This research is concerned with discrete wavelet transform simulations to identify misalignment in induction motors. Modeling of motor operation is introduced in this paper as normal operation and two variations of misalignment. Haar and symlet wavelet transformations at the first level to the third level are used to extract the motor vibration signal into a high frequency signal. Then the energy signal and other signal extracts obtained from the high frequency signal are evaluated to analyze the condition of the motor. This evaluation process uses fuzzy logic of the fuzzy subspace cluster type. The results of research using a combination method of signal processing in the form of DWT and artificial intelligence methods of the fuzzy subspace cluster type. Then the occurrence of misalignment in three-phase induction motors can be detected early. So that maintenance and replacement can be anticipated before misalignment occurs. From

the experimental result, it was obtained that motor and clutch endurance test for level 1 of the fuzzy subspace cluster method was 0,88% better than the fuzzy c-mean method of 0,75%.

Keywords : misalignment, three phase induction motor, discrete wavelet transform, fourier transform, fuzzy subspace cluster

1. PENDAHULUAN

Sejak pertama kali ditemukan, motor induksi telah menjadi bagian utama dari industri ini. Itu karena motor induksi memiliki konstruksi yang kuat, murah dalam pembelian dan perawatan, efisiensi tinggi pada kecepatan pengenal dan torsi, dan mudah dioperasikan [1-3]. Motor dioperasikan di lingkungan yang lembab, kotor, panas, dll., yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian-bagian motor. Pemeliharaan preventif diperlukan untuk mencegah kerusakan, memperpanjang umur motor, dan menemukan kerusakan awal pada motor induksi. Kerusakan pada isolasi dan belitan adalah jenis kerusakan yang paling umum. Kesalahan bantalan adalah 42% -50% dari semua kerusakan motor [4-9]. Motor bantalan bernilai antara 3% -10% dari biaya motor aktual. Namun karena biaya downtime yang terjadi mengakibatkan tidak tercapainya, target produksi sehingga kegagalan bearing menjadi sangat merugikan. Secara umum ini disebabkan oleh kesalahan produksi, kurangnya pelumasan, dan kesalahan pemasangan. Ketidak sejajaran motor adalah salah satu kesalahan pemasangan[10].

Salah satu metode untuk mendeteksi kesalahan pada motor induksi adalah menggunakan metode MCSA. MCSA memonitor gangguan dengan menganalisis sirkulasi stator. MCSA menggunakan metode FFT dalam menganalisis sinyal arus motor. Selain itu, penggunaan getaran motor juga dapat digunakan untuk mendeteksi kesalahan motor induksi. Ini karena kesalahan motor akan menghasilkan beberapa efek, salah satunya adalah getaran motor induksi[11].

Penelitian ini mengklasifikasikan proses *misalignment* dan Level *misalignment* dalam induksi menggunakan *mother wavelet*, termasuk *Daubechis*, *Coiflet* dan *Symlet discrete wavelet transform* dan *discriminant analysis*. Motor induksi yang dioperasikan dan direkayasa

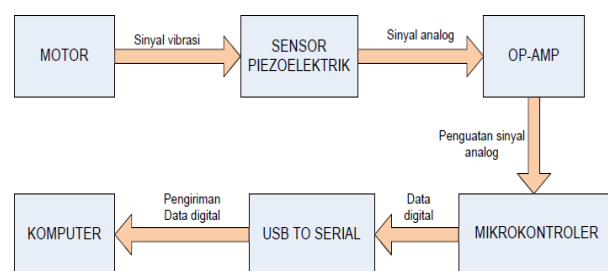
sehingga dalam operasi normal dan dua variasi *misalignment*. Kemudian, transformasi *wavelet* diskrit di tingkat pertama hingga tingkat ketiga digunakan untuk mengekstraksi sinyal getaran motor menjadi sinyal frekuensi tinggi. Kemudian, ekstraksi fitur, termasuk rentang, jumlah, dan energi, yang didapat dari sinyal frekuensi tinggi diambil untuk menganalisis kondisi motor. *Fuzzy subspace cluster* akan menganalisis ekstraksi fitur dan mengklasifikasikannya kedalam tiga kondisi motor *Wavelet discrete transform* mendapat hasil lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian ini dibagi menjadi beberapa sub bab yaitu rancangan *software* dan hasil pengujian awal.

2.1. Rancangan Hardware

Rancangan *hardware* deteksi *misalignment* ini terbagi atas beberapa bagian, yaitu bagian utama berupa mikrokontroler, bagian input berupa rangkaian piezoelektrik dengan amplifiernya dan bagian outputnya adalah *USB to Serial* yang berfungsi mengirim data digital ke komputer.



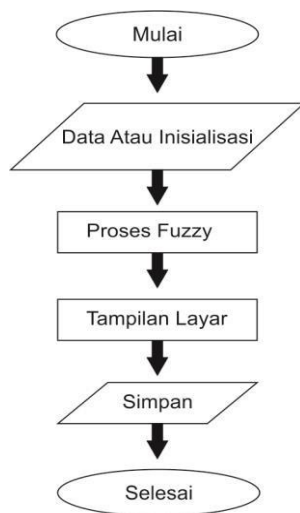
Gambar 1. Blok Diagram Pendeteksi Misalignment

Untuk mengetahui *misalignment* ini menggunakan alat deteksi getaran dengan meletakkan sensor pada motor. Posisi sensor sedekat mungkin dengan motor kopling sebagai sumber getarannya. Setelah output sensor piezoelektrik yang masih berupa sinyal analog ini

dikuatkan oleh *op-amp*. Lalu di ubah menjadi data digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*). Terdapat pada mikrokontroler ARM STM32F4 *Software compiler program* yang digunakan adalah Coccox. Sinyal yang sudah dalam bentuk data digital ini dikirim oleh *USB to Serial* ke komputer.

2.2. Rancangan Software

Rancangan *software* deteksi *misalignment* ini menggunakan *software* aplikasi Matlab. Untuk mengetahui angka keseimbangan motor kopling.



Gambar 2. Flowchart Sistem

```

% cluster_n = 3;
% expo = 2.0 ;
% max_iter = 100 ;
% min_impro = 1e-6 ;
% min_display = 5 ;
% clusteringOptions = [expo max_iter min_impro true];
% clusteringOptions = [expo max_iter min_impro min_display];
% [center,U,obj] = fcm(Latih_2_Level_3,cluster_n,clusteringOptions);
% maxU = max(U);
% index = cell(cluster_n, 1);
% for i = 1 : cluster_n
% index{i} = find(U(i,:) == maxU) ;
% end
    
```

```

for j=1 : 24
    sample = Latih_2_Level_3(j,1:3);
    jarak = [] ;
    center1 = sortrows(center,4);
    for i = 1:3
        jarak(i) = norm(center1(i,1:3) - sample) ;
    end
    [value, indeks] = sort(jarak) ;
    indeks_terkecil = indeks(1) ;
    Hasil_FCM_Latih_2_Level_3(j) = indeks_terkecil ;
end
    
```

Gambar 3. Skrip pengujian dengan *fuzzy clustering misalignment (c-mean)*.

```

% Verify the hyper-parameters
% show_options & Normalization methods, 1: no normalization, 2: z-score, 3: max-min
% (1) & Normalization methods, 1: random, 2: k-means, 3: fuzzy c-means, 4: Fuzzy clustering, accelerated by multi-scale optimization.
% report_options & Report the experiment report run times
% show_algorithm & Fuzzy clustering algorithms, 1: Fuzzy c-means clustering (FCM), 2: Fuzzy adaptive clustering (FAC), 3: Fuzzy entropy clustering (FEC)
% algorithm_options = 'f';

% Load data
load('Latih_2_Level_3.mat');

data = Latih_2_Level_3 ;

% Specify parameters & number of clusters
% U: [rows:clusters]
% label_distances: [report:time]
% u: [1]

% Initialization & Normalization
data = normalization(data, show_options);
for i=1:cluster_n
    label(i,:), center(i,:), obj(i);
end

% Report the experiment report run times
% report_options
% algorithm
% show_options & weighted optimization parameters
[label, time_FC, time_FAC, time_FEC, report_options, experiment_options, FCM_options, FAC_options, FEC_options, U, obj];

save('FCM_results.mat');
    
```

Gambar 4. Skrip Pengujian Dengan *Fuzzy Subspace Clustering*.

3. Hasil Pengujian

Hasil pengujian diperoleh dari perhitungan seperti pada algoritma dengan menggunakan aplikasi Matlab.

Tabel 1. Hasil Pengujian Motor Normal 0 mm

Pengujian	Motor Normal (0 mm)
1.	0,1556 mm
2.	0,2105 mm
3.	0,1739 mm

Tabel 2. Hasil Pengujian Motor *Misalignment* 1 mm

Pengujian	Motor <i>Misalignment</i> 1 mm
1.	1,1171 mm
2.	1,4434 mm
3.	1,0667 mm

Tabel 3. Hasil pengujian motor *misalignment* 1,5mm

Pengujian	Motor <i>Misalignment</i> 1,5 mm
1.	1,8039 mm
2.	1,9223 mm
3.	2,1083 mm

Tabel diatas merupakan hasil dari pengujian alat motor *misalignment* yang disimpan dalam bentuk file.

Data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga jenis data, yaitu arus motor normal tanpa

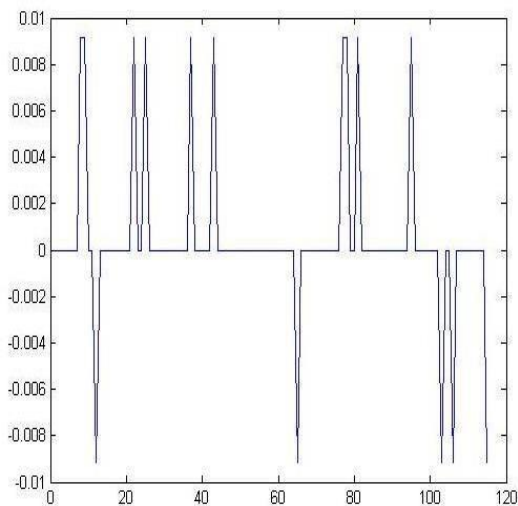
misalignment, arus motor dengan *misalignment* 1 mm, arus motor dengan *misalignment* 1,5 mm.

3.1. Motor Normal

Motor beroperasi dengan normal tanpa adanya ketidak-sejajaran motor dengan kopling sehingga putaran motor menjadi sangat ringan dan datanya seperti pada tabel 4, kemudian untuk sinyal motor normal seperti ditunjukkan pada gambar 5.

Tabel 4. Hasil Percobaan Motor Normal Tanpa *Misalignment*.

Waktu Percobaan	Motor Normal (0 mm)
1.	0,0183 mm
2.	0,0183 mm
3.	0,0183 mm
4.	0,0183 mm
5.	0,0183 mm



Gambar 5. Sinyal Motor Normal Tanpa *Misalignment*.

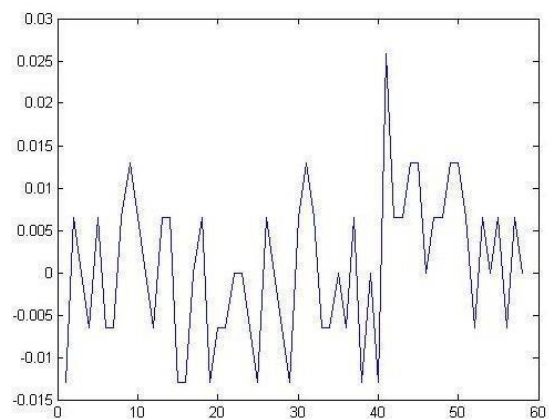
Gambar 5 diatas menunjukkan masing – masing dari sumbu x dan y. Sumbu x menunjukkan waktu dari motor normal. Sumbu y menunjukkan getaran dari motor dan kopling. Diantara sumbu y positif dan sumbu y negatif menunjukkan hasil yang seimbang.

3.2. Motor *Misalignment* 1 mm

Motor beroperasi dengan tidak normal berjarak 1 mm yang menimbulkan ketidak-sejajaran antara motor dengan kopling. Nilai motor *misalignment* seperti disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Percobaan Motor *Misalignment* 1 mm

Waktu Percobaan	Motor <i>Misalignment</i> (1 mm)
1 detik	1,1773 mm
2 detik	1,2639 mm
3 detik	1,4434 mm
4 detik	1,1171 mm
5 detik	1,1159 mm



Gambar 6. Sinyal Motor *Misalignment* 1 mm

Dari gambar 6 diatas dapat kita lihat bahwa sumbu y menunjukkan frekuensi pada keseimbangan getaran. Antara sumbu y positif dan sumbu y negatif menunjukkan gesekan getaran motor lebih besar. Sedangkan sumbu x menunjukkan frekuensi pada waktu getaran. Maka getaran dari motor dan kopling menghasilkan *misalignment* yang semakin besar pada nilai putaran motor. Hal itu karena gesekan beban dari motor dengan kopling menjadi tidak lancar.

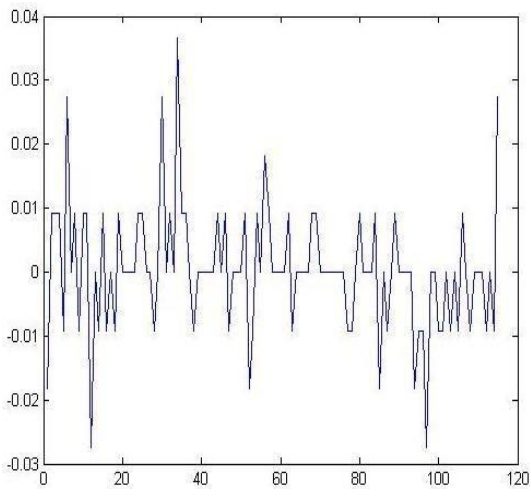
3.3. Motor *Misalignment* 1,5 mm

Motor beroperasi dengan tidak normal berjarak 1,5 mm yang menimbulkan ketidak sejajaran antara motor dengan kopling dan data hasil percobaan disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Percobaan Motor *Misalignment* 1,5 mm

Waktu Percobaan	Motor <i>Misalignment</i> (1,5 mm)
1 detik	1,8039 mm
2 detik	1,7668 mm
3 detik	1,9223 mm

4 detik	1,6332 mm
5 detik	2,3989 mm



Gambar 7. Sinyal motor misalignment 1,5mm

Dari gambar 7 diatas dapat kita lihat bahwa gesekan getaran dari motor dan kopling semakin besar dari pada *misalignment* 1 mm sehingga menyebabkan komponen dari motor dengan kopling menjadi semakin tidak lancar. Hasil uji ketahanan dengan metode FCM dan FSC disajikan pada tabel 7-9.

Tabel 7. Hasil Uji Ketahanan Motor Dan Kopling Level 1

No	Level 1	
1	FCM(%)	FSC(%)
2	0,88	0,83

Tabel 8. Hasil Uji Ketahanan Motor Dan Kopling Level 2

No	Level 2	
1	FCM(%)	FSC(%)
2	0,71	0,71

Tabel 9. Hasil Uji Ketahanan Motor Dan Kopling Level 3

No	Level 3	
1	FCM(%)	FSC(%)
2	0,75	0,71

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini bertujuan melakukan pengujian ketahanan pada motor dan kopling dengan menggunakan metode *fuzzy subspace*

cluster (FSC) yang dibandingkan dengan metode *fuzzy C-mean* (FCM).

Hasil seperti yang tersaji pada tabel 7-9 menggunakan akurasi *wafelet haar*. Yang didapat dari table level 1,2,3 bahwa FCM pada level 1 menghasilkan 0,88% dan level 3 0,75%. Sedangkan FSC pada level 1 menghasilkan 0,83% dan level 3 menghasilkan 0,71%. Untuk nilai pada tabel level 2 menghasilkan akurasi yang sama berarti mempunyai nilai prosentase yang sama antara FCM dan FSC sehingga keduanya mempunyai ketidak-sejajaran yang sama.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Harmouche, C. Delpha, and D. Diallo, "Improved Fault Diagnosis of Ball Bearings Based on the Global Spectrum of Vibration Signals," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 30, no. 1, pp. 376–383, Mar. 2015, doi: 10.1109/TEC.2014.2341620.
- [2] O. V. Thorsen and M. Dalva, "Failure identification and analysis for high-voltage induction motors in the petrochemical industry," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 35, no. 4, pp. 810–818, 1999.
- [3] S. Barker, "Avoiding premature bearing failure with inverter fed induction motors," 1999.
- [4] E. P. Cornell, E. L. Owen, J. C. Appiarius, R. M. McCoy, P. F. Albrecht, and D. W. Houghtaling, "Improved motors for utility applications. Final report," General Electric Co., Schenectady, NY (USA), 1982.
- [5] 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," in *2013 International Conference on QiR*, IEEE, Jun. 2013, pp. 202–207. doi: 10.1109/QiR.2013.6632565.
- [6] A. Starr and B. K. N. Rao, *Condition monitoring and diagnostic engineering management*. Elsevier, 2001.

- [7] D. Anton Asfani, I. M. Yulistya Negara, and P. P. Surya, “Short Circuit Detection in Stator Winding Of Three Phase Induction Motor Using Wavelet Transform and Quadratic Discriminant Analysis,” in *Proceedings of The 3rd International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2015*, The Institute of Industrial Application Engineers, 2015, pp. 361–366. doi: 10.12792/icisip2015.068.
- [8] C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, D. A. Asfani, and I. M. Y. Negara, “Fault classification in transformer using low frequency component,” in *2017 IEEE 10th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA)*, IEEE, Nov. 2017, pp. 199–202. doi: 10.1109/IWCIA.2017.8203584.
- [9] D. A. Asfani, M. H. Purnomo, and T. Hlyama, “Neural network based real time detection of temporary short circuit fault on induction motor winding through wavelet transformation,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 10, no. 6, pp. 2277–2293, 2014.
- [10] R. A. Johnson and D. W. Wichern, “Applied multivariate statistical analysis,” 1998.
- [11] C. Bouveyron, S. Girard, and C. Schmid, “High-dimensional discriminant analysis,” *Communications in Statistics—Theory and Methods*, vol. 36, no. 14, pp. 2607–2623, 2007.