

Pengolahan Sinyal Suara Menggunakan Transformasi Wavelet Untuk Monitoring Kondisi Bearing Motor Induksi

Johan Prasetyaa^a, Adistra Shanda Syahputrib^b, Muhammad Dzikri Akbar Bahtiar^c

^a Renus Global Indonesia, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60119

^b Program Studi Teknologi Laboratorium Medik, Universitas Airlangga.

^c Program Studi Teknik Informatika, Universitas Negeri Surabaya

^a johanprasetyo17@gmail.com

^b adistra.anda.syahputri-2023@vokasi.unair.ac.id

^c muhammaddzikri.23080@mhs.unesa.ac.id

Kata Kunci :

ABSTRAK

*Motor Induksi
Inner race bearing
Sinyal suara
Wavelet transform*

Motor induksi adalah jenis motor listrik yang banyak digunakan dibandingkan jenis motor lain. Bearing adalah komponen utama motor untuk membantu shaft berputar. Bagian motor ini sering mengalami kerusakan sehingga mengganggu operasional motor. Motor induksi akan mengalami panas berlebih, noise, percikan bunga api, bahkan menyebabkan motor induksi berhenti berputar. Oleh karena itu diperlukan tool yang bertugas memonitoring kondisi bearing dengan tujuan meningkatkan performa mesin, mengurangi biaya perawatan dan menjaga keandalan. Penelitian ini memberikan solusi monitoring kondisi bearing dengan teknik non-invasive menggunakan sinyal suara. Suara yang keluar dari operasional mesin diolah menggunakan algoritma wavelet agar sinyal suara dalam domain waktu dapat dianalisis karakteristiknya. Karakteristik sinyal suara akan memberikan informasi yang relevan terhadap kondisi bearing. Dari analisis energi rata-rata yang diperoleh dari dekomposisi wavelet didapatkan bahwa algoritma ini memberikan persentase keberhasilan diagnosa sebesar 52,71%.

*Induction Motor
Inner race bearing
Sound signal
Wavelet transform*

Induction motors are a type of electric motor that is widely used compared to other types of motors. Bearings are the main component of a motor to help the shaft rotate. This motorbike part often experiences damage, disrupting motorbike operation. The induction motor will experience overheating, noise, sparks, and even cause the induction motor to stop rotating. Therefore, a tool is needed that is tasked with monitoring the condition of bearings with the aim of improving machine performance, reducing maintenance costs and maintaining reliability. This research provides a solution for monitoring bearing conditions with a non-invasive technique using sound signals. The sound that comes out of operational machines is

processed using a wavelet algorithm so that sound signals in the time domain can be analyzed for their characteristics. The characteristics of the sound signal will provide relevant information regarding the condition of the bearing. From the analysis of the average energy obtained from wavelet decomposition, it was found that this algorithm gave a diagnostic success percentage of 52.71%.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan mesin listrik yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi banyak digunakan pada dunia industri dikarenakan kehandalan, konstruksinya yang sederhana, perawatannya yang mudah dan ekonomis (Dewantara, B. Y., 2017). Untuk menjaga suatu produksi secara berkelanjutan yang kebanyakan prosesnya ditunjang oleh motor induksi maka harus dijaga kondisinya agar tetap prima sehingga kerusakan-kerusakan dapat dihindari serta menjadikan umur peralatan tersebut menjadi lebih lama (Navasari, E., 2018). Seiring berjalannya waktu dalam pengoperasiannya motor induksi pasti akan mengalami kerusakan. Kerusakan pada motor induksi dapat dikategorikan sebagai berikut : kerusakan kelistrikan (tegangan atau arus suplai tidak seimbang, gangguan grounding), kerusakan mekanik (patahnya batang rotor, kerusakan bearing), dan kerusakan yang dipengaruhi lingkungan (suhu lingkungan serta kelembaban eksternal akan mempengaruhi kinerja motor induksi, getaran mesin) namun berdasarkan survei dari IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) dan EPRI (Electric Power Research and Institute) yang telah dilakukan, kerusakan paling signifikan pada motor induksi adalah pada komponen bearing (Karmakar, S., 2016).

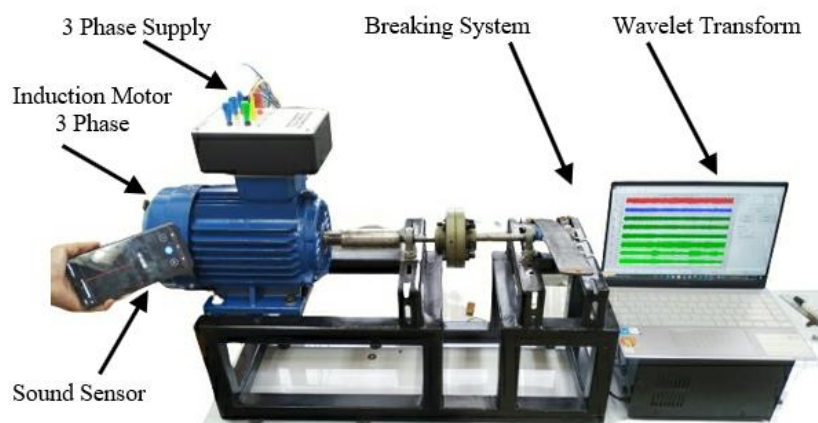
Pada komponen bearing kerusakan disebabkan karena kurangnya pelumasan (Moiz, M. S., 2019), tekanan mekanis pada bola (Navasari, E., 2018), kerusakan inner race (Raharjo, P. 2013) dan outer race (Rohman, F., 2019). Pendeteksian kerusakan ini dapat dilakukan dengan menganalisa arus stator dan getaran motor (Sun, D., Xu, Z., & Yuan, Y. J. 2017). Analisis spektrum dilakukan pada arus stator motor induksi atau yang disebut Motor Current Signature Analysis (MCSA), kemudian sinyal arus di diagnosis menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). MCSA dianggap cukup mahal untuk diimplementasikan. Selain melalui MCSA dan getaran, pendeteksian kerusakan dapat melalui sinyal flux, thermal, voltage, akustik, dan getaran (P. Sangeetha B. and H. S., 2019) .

Berdasarkan penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan yaitu diagnosa kondisi inner race bearing pada motor induksi 3 fasa sebagai deteksi dini kerusakan berbasis wavelet transform melalui analisa sinyal suara. Untuk pengambilan data suara menggunakan mikrofon dan pengolahan data sinyal suara dilakukan menggunakan metode wavelet transform. Hasil dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai alternatif untuk mendeteksi dini kerusakan pada motor induksi. Kelebihan dari metode ini yaitu tidak memerlukan adanya kontak terhadap bearing pada motor induksi (invasive) yang akan dideteksi kerusakannya serta dari segi biaya juga lebih hemat dan efisiensi waktu dalam perbaikannya.

2. METODE

2.1. Konfigurasi Sistem

Sistem deteksi kerusakan inner race bearing dalam penelitian ini mengambil data sinyal suara melalui mikrofon yang diperoleh pada saat motor induksi beroperasi. Tipe motor induksi yang digunakan pada eksperimen yaitu tipe squirrel cage. Data sinyal suara diambil ketika kondisi tidak berbeban dan beberapa variasi pembebanan. Pengujian ini akan menghasilkan data suara dari motor induksi yang berbeda. Besarnya beban yang diberikan akan mempengaruhi putaran motor dan juga akan mempengaruhi bentuk sinyal suara motor induksi sehingga akan menghasilkan nilai energi rata-rata yang berbeda. Variasi pembebanan menggunakan sistem pengereman dengan beban sebesar 30Nm, 40Nm, dan 50Nm. Pengambilan data sinyal suara ini dilakukan pada kondisi sebelum rekonstruksi dan setelah rekonstruksi inner race bearing. Untuk konfigurasi sistem dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Sistem Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing

Pada konfigurasi sistem, metode transformasi wavelet digunakan untuk mengolah data sinyal suara untuk menentukan kondisi inner race bearing. Data sinyal suara yang diperoleh dikelompokkan menjadi frekuensi tinggi dan rendah melalui proses highpass filter dan lowpass atau disebut juga dengan dekomposisi wavelet. Setelah itu sebagai pendeteksian kerusakan dilakukan perbandingan ripple dan hasil energy rata-rata, sehingga kerusakan inner race bearing dapat dideteksi berdasarkan tingkat kerusakannya.

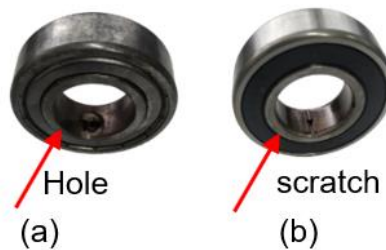
2.2. Rekonstruksi Kerusakan Inner Race Bearing

Penelitian ini menggunakan squirrel cage induction motor dengan pengamatan difokuskan pada deteksi kondisi inner race bearing. Pengujian dibagi menjadi beberapa kondisi tingkat kerusakan. Pada inner race bearing diberikan kecacatan/kerusakan berupa lubang serta goresan. Tujuan diberikan lubang/goresan digunakan untuk memberikan dampak kondisi berbeda pada pergerakan inner race bearing. Selain itu pengujian variasi kerusakan diberikan untuk mengukur tingkat keakuratan hasil penelitian sebagai gambaran berbagai kondisi inner race bearing dalam berbagai kondisi. Meskipun dalam kenyataannya, kerusakan bearing yang sering terjadi di lapangan tidak bisa ditentukan besarnya.

Untuk kasus rekonstruksi pada inner race bearing dibuat 2 tingkatan kerusakan yang terdiri dari : a) Kerusakan berupa lubang (diameter 2mm), b) Kerusakan dengan kondisi goresan 1 (diameter 1mm). Pada Gambar 2 – 3 berikut ditunjukkan bearing dalam kondisi normal dan telah direkonstruksi yang nantinya akan digunakan untuk pengujian.



Gambar 2. Inner Race Bearing Kondisi Normal



Gambar 3. (A) Inner Race Bearing Lubang Diameter 2mm, (B) Inner Race Bearing Tergores Diameter 1mm

2.3 Pengolahan Sinyal Suara Menggunakan Algoritma Wavelet Transform

Pengujian sistem deteksi kerusakan ini menggunakan analisis metode *wavelet transform* yang diaplikasikan untuk pengolahan *sinyal suara* motor induksi. Pengujian ini akan membandingkan kondisi *inner race bearing* dalam keadaan normal dan kondisi rusak. Simple data *sinyal suara* sebanyak 30.000 sample. *Dekomposisi* merupakan suatu penguraian dari sinyal asli ke detail yang disesuaikan pada model dengan level yang akan digunakan [26].

Pada gambar 4 disajikan sinyal suara dari tipe squirrel cage induction motor ketika dalam keadaan *normal tanpa beban*. Sinyal suara tersebut akan diolah dan dianalisis menggunakan metode *wavelet transform* kemudian akan dihitung energi rata-ratanya, proses perhitungan energi rata-rata ini bertujuan untuk menentukan kondisi kerusakannya. Energi rata-rata dan kepadatan ripple yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan (1) [27]:

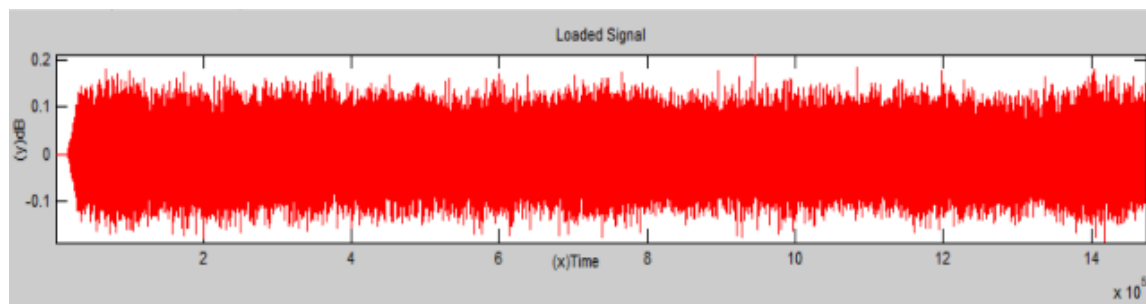
Energi Rata-rata

$$Dn = \sum_0^n \frac{d(t)^2}{n}$$

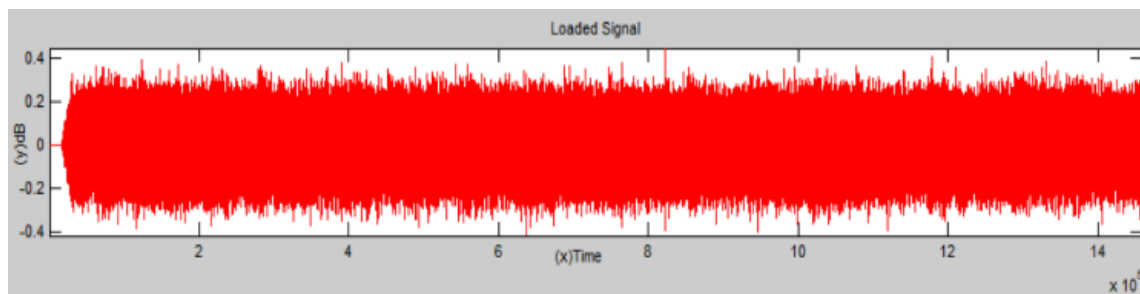
(1)

Dengan, n: jumlah data

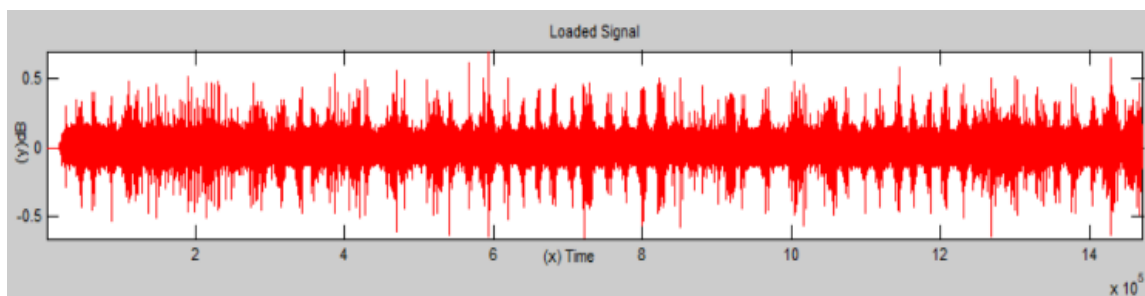
d(t): nilai sinyal suara terhadap waktu



Gambar 4. Sinyal Suara Tipe Squirrel Cage Induction Motor Kondisi Normal Tanpa Beban



Gambar 5. Sinyal Suara Tipe Squirrel Cage Induction Motor Kondisi Fault1.



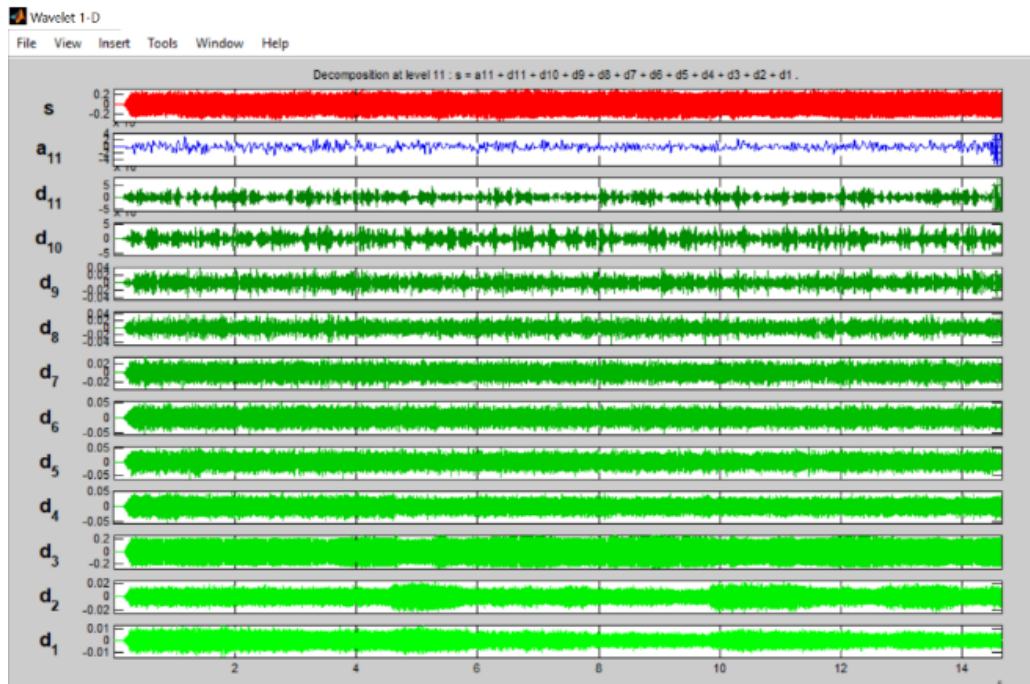
Gambar 6. Sinyal Suara Tipe Squirrel Cage Induction Motor Kondisi Fault2.

Preprocessing dilakukan sebelum data suara diolah untuk diagnosis. Langkah preprocessing yaitu menguji validitas dari data dan program algoritma yang nantinya akan digunakan pada langkah berikutnya. Dari langkah preprocessing, disimpulkan bahwa pengambilan data pada ruangan yang hening menghasilkan pendeteksian yang lebih akurat dibandingkan dengan kondisi ruangan normal dan ramai, oleh karena itu proses selanjutnya dilakukan pengolahan sinyal suara dengan kondisi ruangan yang hening.

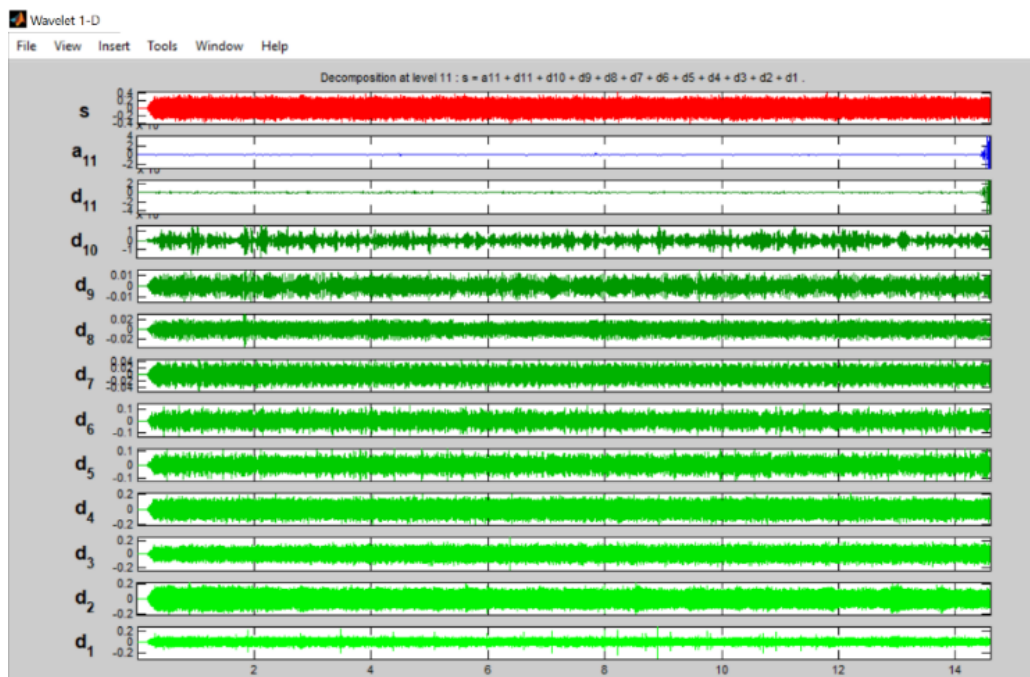
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan *sinyal suara* yang diperoleh pada motor induksi akan dilakukan menggunakan algoritma *wavelet transform*. Penguraian sinyal ini mengimplementasikan penelusuran titik-titik gelombang sinyal atau disebut proses pembacaan sampling. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan sebagai identifikasi *sinyal suara* pada bearing kondisi sehat atau rusak yaitu dengan melihat jumlah ripple dan energi rata-rata. Type wavelet yang digunakan adalah jenis wavelet *debauches*. Gambar 7 samap gambar 8 merupakan hasil dekomposisi pada masing-masing mengujian variasi beban dan rekonstruksi inner race bearing. Dari Gambar 4.3 menunjukkan hasil dekomposisi motor induksi kondisi normal dengan motor induksi kondisi rusak. Setelah dilakukan proses *dekomposisi*, diperoleh perbedaan visualisasi *sinyal suara* dari bentuk *ripple* yang dihasilkan hingga level ke 11, dengan jenis *wavelet* dan ordo yang sama.

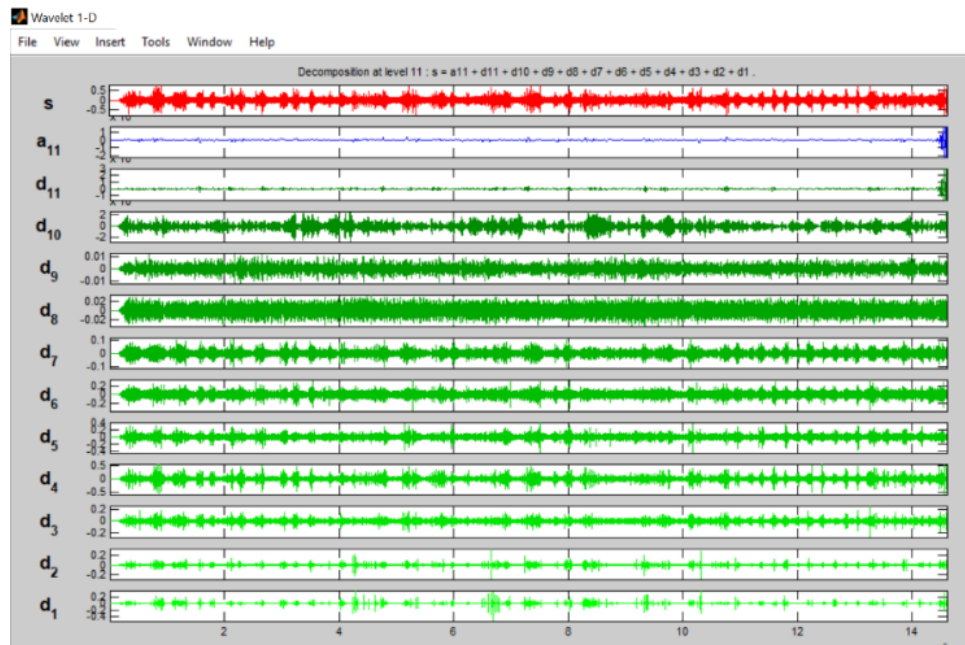
Namun dari hasil *dekomposisi* tersebut masih belum menunjukkan perbedaan sinyal yang akurat dari level d1 sampai d11. Pada level d11 dipilih dikarenakan sudah cukup terlihat jelas perbedaan sinyal secara visualisasi dengan sinyal asli. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan perhitungan jumlah *ripple* pada level d1 sampai d11 dengan menggunakan persamaan energi rata-rata



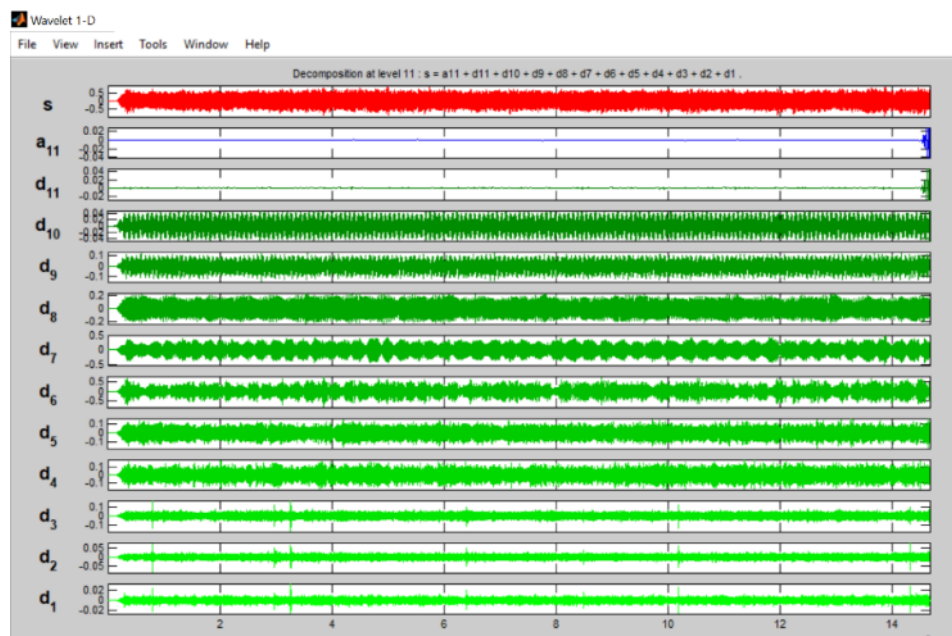
Gambar 7. Dekomposisi Wavelet Inner Race Bearing Normal Tanpa Beban



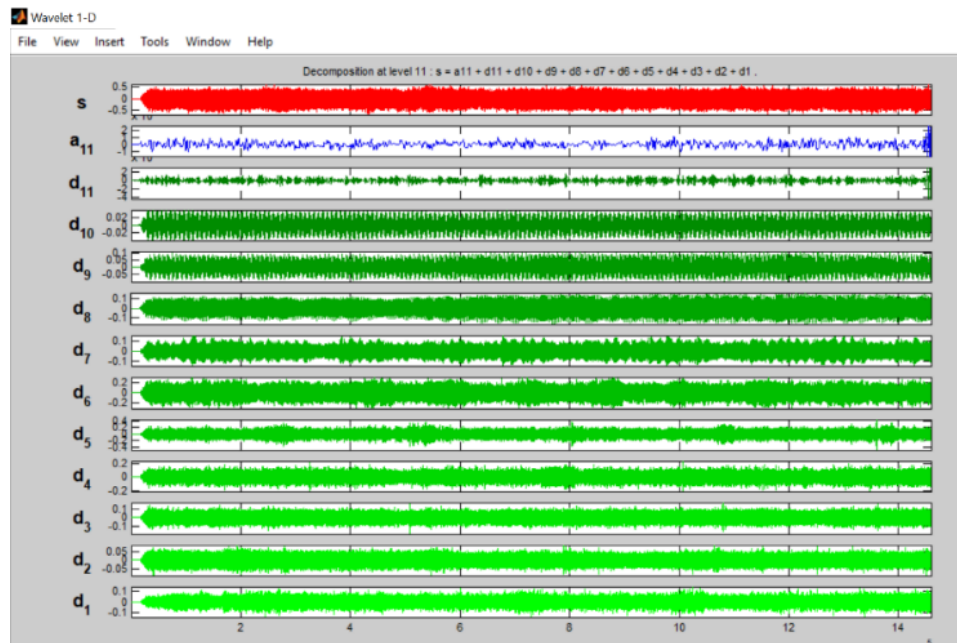
Gambar 8. Dekomposisi Wavelet Inner Race Bearing Fault2, Tanpa Beban



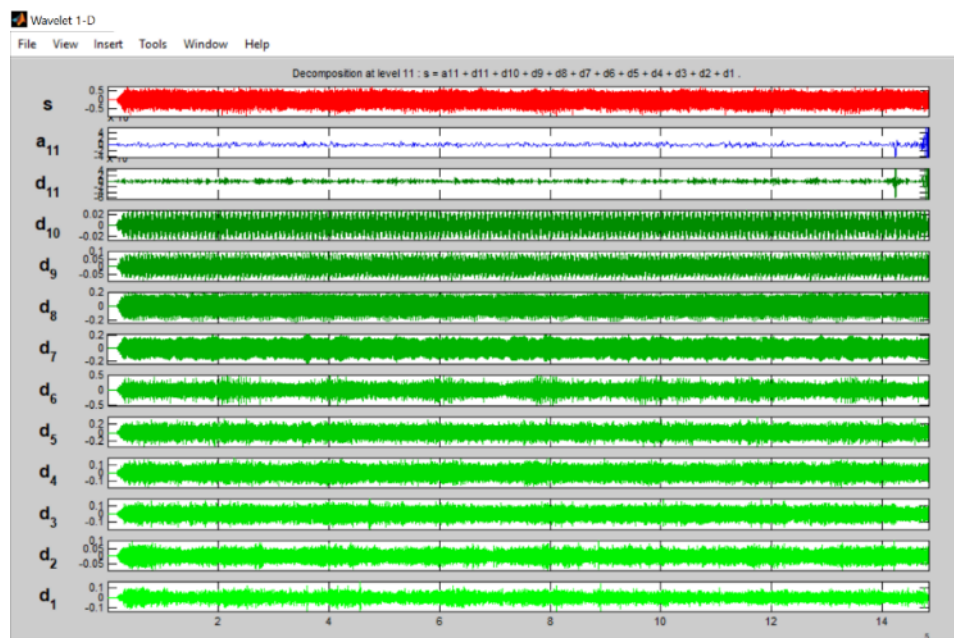
Gambar 9. Decomposisi Wavelet Inner Race Bearing Fault1, Tanpa Beban



Gambar 10. Decomposisi Wavelet Inner Race Bearing Normal Dengan Deban 30 Nm



Gambar 11. Decomposisi Wavelet Inner Race Bearing Fault2 Dengan Beban 30 Nm



Gambar 12. Decomposisi wavelet inner race bearing fault1 dengan beban 30 Nm

3.1 Diagnosa Kerusakan Motor Induksi Berbeban 0 Nm

Setelah dilakukan proses *dekomposisi*, diperoleh perbedaan visualisasi *signal suara* dari bentuk *ripple* yang dihasilkan hingga level ke 11, dengan jenis *wavelet* dan ordo yang sama. Namun dari hasil *dekomposisi* tersebut masih belum menunjukkan perbedaan sinyal yang akurat dari level d1 sampai d11. Oleh karena itu sinyal detail pada Gambar 7 dapat dilakukan pencuplikan salah satu sinyal pada level d11 sebagai variable deteksi kondisi. Pada level d11 dipilih dikarenakan sudah cukup terlihat jelas perbedaan sinyal secara visualisasi dengan sinyal asli. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan perhitungan jumlah

ripple dengan persamaan (1). Tabel 1 merupakan perbandingan energi rata-rata yang dilakukan pada motor induksi dengan beban 0 Nm dari 5 kali pengujian.

Tabel 1. Hasil Energi Rata-Rata Motor Induksi Dengan Beban 0 Nm.

D	Terbebani 0 Nm			Persentase Setiap Kondisi	
	Normal	Tergores 1mm	Lubang 2mm	Tergores 1mm	Lubang 2mm
D1	7.8598e-07	1.0698e-04	5.1425e-06	0	0
D2	1.8529e-06	4.1945e-04	5.2953e-06	0	0
D3	5.7163e-04	1.6563e-04	6.4354e-05	1	1
D4	2.5259e-05	2.5884e-04	3.9338e-04	0	0
D5	2.7981e-05	8.5744e-05	3.5045e-04	0	0
D6	3.1355e-05	1.1236e-04	4.3797e-04	0	0
D7	1.8268e-05	2.6785e-05	9.4280e-05	0	0
D8	1.9042e-05	1.2399e-05	1.7752e-05	1	1
D9	7.0621e-06	4.7424e-06	1.1152e-06	1	1
D10	2.0535e-07	6.1815e-09	1.3460e-07	1	1
D11	5.5558e-09	9.7205e-10	8.1145e-10	1	1
Jumlah Terdiagnosa Rusak				5	5
Presentase Tiap Kondisi				45,45 %	45,45 %
Presentase Keseluruhan dari Kondisi <i>Inner Race Bearing</i>				45,45%	

Keterangan : D = Dekomposisi

1 = Terdiagnosa rusak

0 = Tidak Terdiagnosa

Setelah dilakukan 5 kali pengujian, apabila nilai energi rata-rata motor induksi rusak mengalami penurunan nilai yang lebih kecil dari motor induksi normal, maka sistem diagnosa dianggap berhasil. Untuk persentase keberhasilan diagnosa pada kasus motor beban 0 Nm dapat menggunakan persamaan (2).

$$\% = \frac{\text{jumlah terdeteksi kerusakan inner race bearing}}{\text{jumlah level dekomposisi}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari pengamatan rata-rata penurunan energi yang ditunjukkan pada tabel 1, persentase keberhasilan pada kasus motor induksi tanpa beban adalah menghasilkan akurasi deteksi 45,45% untuk setiap pengujian tingkat kerusakan. Nilai 45,45% diperoleh dari perhitungan jumlah terdiagnosa 5 dan jumlah dekomposisi 11.

3.2 Diagnosa Kerusakan Motor Induksi Dengan Beban 30 Nm, 40 Nm, Dan 50 Nm.

Dalam tahap ini, dekomposisi yang digunakan masih sama pada proses sebelumnya dengan menggunakan *wavelet* jenis *deubaches*. *Wavelet* jenis ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik sinyal yang bersifat asimetri, dan juga pemilihan jenis *wavelet* juga mempengaruhi dalam proses analisis *sinyal suara*. Berikut hasil dekomposisi sinyal suara pada kondisi beban 30 Nm.

Tabel 2. Hasil Energi Rata-Rata Motor Induksi Dengan Beban 30 Nm.

D	Terbebani 30 Nm			Presentase Setiap Kondisi	
	Normal	Tergores 1mm	Lubang 2mm	Tergores 1mm	Lubang 2mm
D1	0.1121	2.7242e-05	1.8131e-05	1	1
D2	3.3388e-06	3.7258e-05	2.9318e-05	0	0
D3	2.0481e-05	1.5945e-04	1.1972e-04	0	0
D4	1.7280e-04	2.2304e-04	1.6917e-04	0	1
D5	1.3078e-04	5.5550e-04	6.2846e-04	0	0
D6	0.0031	9.9611e-04	0.0019	1	1
D7	0.0014	2.0171e-04	6.8791e-04	1	1
D8	8.7640e-04	3.0150e-04	0.0014	1	0
D9	3.7496e-04	2.6424e-04	1.9041e-04	1	1
D10	8.3085e-05	5.7622e-05	3.4465e-05	1	1
D11	1.1607e-07	6.6436e-08	5.7185e-08	1	1
Jumlah Terdiagnosa Rusak				7	7
Presentase Tiap Kondisi				63,63 %	63,63 %
Presentase Keseluruhan dari Kondisi Inner Race Bearing				63,63 %	

Untuk mendapatkan hasil energi rata-rata dan nilai presentase keberhasilan masih menggunakan cara yang sama yaitu dengan persamaan (1) *Perhitungan jumlah ripple* dan (2) *Persentase Keberhasilan*. Dari 5 kali pengujian, presentase keberhasilan keseluruhan dari kondisi *inner race bearing* pengujian 1 mendapatkan nilai tertinggi yaitu 63,63 % dibandingkan dengan semua pembebanan.

Pada variasi pengujian pembebanan dilakukan secara bertahap dengan nilai sebesar 0 Nm, 30 Nm, 40 Nm, dan 50 Nm. Pada setiap dekomposisi, energi rata-rata akan diamati untuk mengetahui kondisi *inner race bearing* yang akan ditunjukkan pada Tabel 3 adalah nilai energi rata-rata motor induksi dengan beban 40 Nm dan Tabel 4 adalah nilai nilai energi rata-rata motor induksi dengan beban 50 Nm

Tabel 3. Hasil Energi Rata-Rata Motor Induksi Dengan Beban 40 Nm.

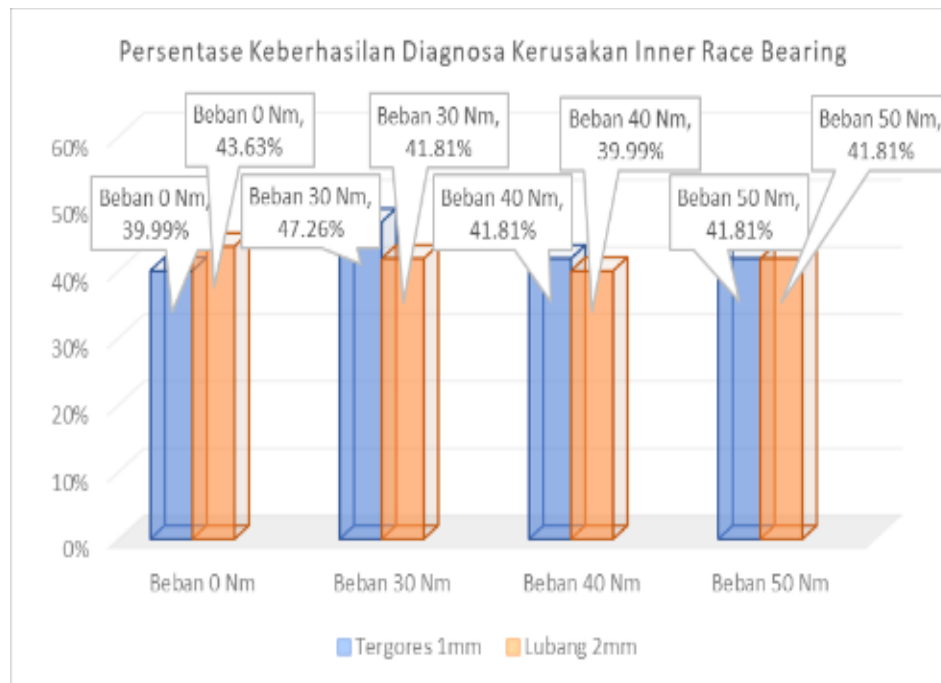
D	Terbebani 40 Nm			Presentase Setiap Kondisi	
	Normal	Tergores 1mm	Lubang 2mm	Tergores 1mm	Lubang 2mm
D1	5.7250e-07	6.0138e-05	5.8065e-06	0	0
D2	3.4733e-06	7.1727e-05	1.1289e-05	0	0
D3	1.6858e-05	1.4950e-04	5.5368e-05	0	0
D4	1.4278e-04	3.3714e-04	1.2912e-04	0	1
D5	2.0486e-04	8.9430e-04	3.4765e-04	0	0
D6	0.0061	5.2144e-04	0.0020	1	1
D7	0.0021	1.8363e-04	6.2610e-04	1	1
D8	4.8021e-04	7.7219e-04	0.0012	0	0
D9	4.1632e-04	2.7814e-04	3.0532e-04	1	1
D10	7.0522e-05	4.1429e-05	1.6601e-05	1	1
D11	9.7393e-08	1.0709e-08	1.8802e-08	1	1
Jumlah Terdiagnosa Rusak				5	5
Presentase Tiap Kondisi				45,45 %	45,45 %
Presentase Keseluruhan dari Kondisi Inner Race Bearing				45,45 %	

Tabel 4. Hasil Energi Rata-Rata Motor Induksi Dengan Beban 50 Nm.

D	Pembebanan 50 Nm			Presentase Setiap Kondisi	
	Normal	Tergores 1mm	Lubang 2mm	Tergores 1mm	Lubang 2mm
D1	3.8806e-07	3.9799e-05	5.6014e-06	0	0
D2	4.1755e-06	9.2164e-05	3.5935e-05	0	0
D3	5.5551e-05	2.6359e-04	1.3798e-04	0	0
D4	6.6414e-04	3.3205e-04	1.2111e-04	1	1
D5	1.0399e-04	5.6296e-04	3.5316e-04	0	0
D6	0.0056	8.4236e-04	0.0019	1	1
D7	0.0029	1.7067e-04	8.9719e-04	1	1
D8	4.3259e-04	8.1948e-04	0.0013	0	0
D9	5.2940e-04	2.5054e-04	4.4634e-04	1	1
D10	7.6439e-05	6.0818e-05	1.7626e-05	1	1
D11	5.2134e-08	5.1480e-08	1.5602e-08	1	1
Jumlah Terdiagnosa Rusak				6	6
Presentase Tiap Kondisi				54,54 %	54,54 %
Presentase Keseluruhan dari Kondisi Inner Race Bearing %				54,54 %	

3.3. Analisa Kerusakan Inner Race Bearing Melalui Sinyal Suara Menggunakan Metode Wavelet Transform.

Setelah dilakukan 5 kali proses pengujian dan perhitungan dengan terdapat perbedaan tingkat pembebanan dan kondisi kerusakan yang telah dijelaskan pada sub bab 3.1 sampai 3.2, bahwa diperoleh hasil diagnosa kerusakan *inner race bearing* pada motor induksi melalui *analisa suara* dengan metode *wavelet transform* dapat dilakukan akan tetapi hasil keberhasilan diagnosa yang bisa dikatakan cukup tinggi karena lebih dari 50%. Pada Gambar 13 ditunjukkan diagram grafik balok untuk persentase tiap kondisi kerusakan dan beban yang bervariasi.



Gambar 13. Persentase Keberhasilan Diagnosa Kerusakan Bearing

Tabel 5. Persentase Keseluruhan Diagnosa Keberhasilan

Fault Detection Inner Race Bearing			
Beban	Inner Race Bearing Tergores 1mm	Inner Race Bearing Berlubang 2mm	Diagnosa Kerusakan %
0 Nm	39,99 %	43,63 %	83,62%
30 Nm	47,26 %	41,81 %	44,53%
40 Nm	41,81 %	39,99 %	40,9 %
50 Nm	41,81 %	41,81 %	41,81%
Persentase Diagnosa Keberhasilan %			52,71%

Pada Tabel 5. perhitungan persentase keberhasilan yang diperoleh dari seluruh pengujian *inner race bearing* dengan parameter beban yang bervariasi yaitu 0 Nm, 30 Nm, 40 Nm, 50 Nm serta dalam kondisi kerusakan tergores dan lubang, diperoleh nilai rata-rata persentase keberhasilan deteksi kerusakan keseluruhan dengan nilai 52,71%. Dari penelitian ini dapat dinyatakan bahwa diagnosa kerusakan melalui suara dapat digunakan secara efektif. Metode yang

digunakan ini memiliki kelebihan dalam diagnosa yaitu tanpa memerlukan kontak secara langsung terhadap *inner race bearing*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian diagnosa kerusakan inner race bearing pada motor induksi 3 fasa yang diperoleh melalui proses pengambilan 5 data suara tiap kondisi dan beban yang bervariasi dengan menggunakan metode wavelet transform dapat diambil kesimpulan, ketika terjadi kerusakan bearing maka akan menghasilkan gerakan yang tidak simetri pada rotor sehingga gerakan pada rotor tersebut dapat menimbulkan suara pada motor induksi dan menghasilkan energi rata-rata yang berbeda. Penurunan energi rata-rata dari nilai kondisi motor induksi sehat dapat dinyatakan bahwa inner race bearing dalam keadaan rusak. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pada saat beban 0 Nm, 30 Nm, 40 Nm, dan 50 Nm dapat mendiagnosa kerusakan sebesar 83.62%, 44.53%, 40.9%, dan 41,81%. Untuk diagnosa keseluruhan kerusakan inner race bearing melalui analisis sinyal suara dengan metode wavelet transform memiliki tingkat persentase diagnosa sebesar 52,71%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk menentukan kondisi inner race bearing pada motor induksi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada tim penelitian di Laboratorium Mesin Listrik Universitas Hang Tuah yang telah memberikan fasilitas dalam pengerjaan penelitian. Seluruh anggota tim penelitian yang telah memberikan kontribusi ide, saran dan perbaikan dalam terselesainya penelitian.

Daftar Pustaka

- Dalvand, F., Kang, M., Dalvand, S., & Pecht, M. (2018). Detection of generalized-roughness and single-point bearing faults using linear prediction-based current noise cancellation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(12), 9728-9738.
- Dewantara, B. Y. (2017). Eksperimen Deteksi Eksentrisitas Statis Celah Udara Motor Induksi Melalui Analisa Frekuensi Resolusi Pada Arus Stator (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Iradiratu, D. P. K., Dewantara, B. Y., & Janudin, A. M. (2019). Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Menggunakan Motor Current Signature Analysis Berbasis Fast Fourier Transform. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 6(1), 14-17.
- Karmakar, S., Chattopadhyay, S., Mitra, M., & Sengupta, S. (2016). Induction motor fault diagnosis: approach through current signature analysis. Springer.
- Moiz, M. S., Shamim, S., Abdullah, M., Khan, H., Hussain, I., Iftikhar, A. B., & Memon, T. D. (2019, October). Health Monitoring of three-phase induction motor using current and vibration signature analysis. In 2019 International Conference on Robotics and Automation in Industry (ICRAI) (pp. 1-4). IEEE.
- Navasari, E. (2018). Deteksi Kerusakan Bearing Motor Induksi Dengan Analisa Arus Starting Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit Dan Jaringan Saraf Tiruan (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Raharjo, P. (2013). An investigation of surface vibration, airbourne sound and acoustic emission characteristics of a journal bearing for early fault detection and diagnosis (Doctoral dissertation, University of Huddersfield).

Rohman, F. (2019). Identifikasi Kerusakan Inner Race Bearing Pada Motor Induksi Berbasis Dekomposition.

Sinambela, M., Baafai, U., & Zarlis, M. Analisis Dekomposisi Spektral Data Seismik Dengan Transformasi Wavelet Kontinu. Vol. 3 No. 2–Agustus 2012, 107.

Sun, D., Xu, Z., & Yuan, Y. J. (2017, November). Detection of abnormal noises from tapered roller bearings by a sound sensing system. In 2017 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP) (pp. 1-4). IEEE.

Priyandoko, G. (2021). Klasifikasi Kerusakan Motor Induksi Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit Dan K-Nearest Neighbor. JOINTECS (Journal of Information Technology and Computer Science), 6(2), 109-116.

P. Sangeetha B. and H. S., "Rational-Dilation Wavelet Transform Based Torque Estimation from Acoustic Signals for Fault Diagnosis in a Three-Phase Induction Motor," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 15, no. 6, pp. 3492-3501, June 2019, doi: 10.1109/TII.2018.2874463.