

Short Time Fourier Transform (STFT) sebagai Feature Extraction Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Motor Induksi Secara Realtime Menggunakan Sinyal Suara

Fitrya Salsabillah¹, Iradiratu Diah Prahmana Karyatanti², dan Belly Yan Dewantara³
^{1,2,3}Universitas Hang Tuah Surabaya

Jl. Arief Rachman Hakim No 150 Sukolilo Kota Surabaya Jawa Timur, 60111
email : fsalsabillah@gmail.com

Abstrak—Motor induksi merupakan motor listrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi banyak digunakan didalam dunia industri sebagai penggerak utama karena memiliki tingkat kehandalan yang tinggi, perawatan yang mudah, konstruksinya sederhana dan harganya murah. *Bearing* merupakan komponen pendukung dari motor induksi yang membantu *rotor* agar dapat berputar secara bebas. Salah satu kerusakan terbesar yang terjadi pada motor induksi yang sering ditemui adalah kerusakan *bearing*. Hampir sekitar 41-44% kasus kerusakan motor induksi yang terjadi pada *bearing*. Penelitian ini akan mengembangkan monitoring kondisi *inner race bearing* secara *realtime* menggunakan *raspberry pi* melalui sinyal suara dengan metode *Short Time Fourier Transform (STFT)*. Metode ini lebih efektif karena *STFT* dapat memberikan informasi spektrum frekuensi pada seluruh nilai amplitudo yang telah melalui proses *windowing*. Pada penelitian ini *feature extraction* dengan pendekatan *STFT* untuk deteksi kerusakan *inner race bearing* menghasilkan akurasi sebesar 98.7%. Kontribusi hasil penelitian adalah *tool* yang dihasilkan merupakan alternatif solusi dalam mendeteksi kerusakan pada *inner race bearing* motor induksi yang akurat.

Kata kunci: *Bearing, Sinyal Suara, Short-Time Fourier Transform (STFT), Real Time*

Abstract—An induction motor is an electric motor that can convert electrical energy into mechanical energy. Induction motors are widely used in the industrial world as prime movers because they have a high level of reliability, easy maintenance, simple construction and low cost. Bearing is a supporting component of the induction motor which helps the rotor to rotate freely. One of the biggest damage that occurs in an induction motor that is often encountered is bearing damage. Almost about 41-44% of cases of induction motor damage that occurs in the bearing. This research will develop monitoring of the condition of the inner race bearing in real time using Raspberry Pi via sound signals using the Short Time Fourier Transform (STFT) method. This method is more effective because STFT can provide frequency spectrum information on all amplitude values that have gone through the windowing process. In this study, feature extraction using the STFT approach for detecting inner race bearing damage resulted in an accuracy of 98.7%. The contribution of the research results is that the resulting tool is an alternative solution in accurately detecting damage to the inner race bearing of an induction motor.

Keywords: *Bearings, Sound Signals, Short-Time Fourier Transform (STFT), Real Time*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi atau biasa juga dikenal sebagai motor asinkron adalah motor listrik AC. Motor induksi merupakan motor listrik yang bekerja berdasarkan arus induksi yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi biasanya banyak digunakan dikalangan industri karena memiliki tingkat keandalan tinggi, perawatan mudah, konstruksinya sederhana, dan harga lebih murah. Di industri, penggunaan motor induksi ini digunakan sebagai penggerak utama suatu proses produksi untuk menunjang berbagai sistem produksi [1]. Pada dasarnya kerusakan motor induksi adalah suatu keadaan sistem yang menyimpang dari keadaan normal, dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas

kerja motor. Kerusakan bagian motor induksi dapat dikategorikan menjadi kerusakan mekanik (patahnya poros rotor dan kerusakan bearing), kerusakan elektrik (tegangan atau arus suplai tidak seimbang dan gangguan *grounding*), dan kerusakan eksternal (suhu dan kelembapan lingkungan) [2]. Menurut survey dari *Electrical Power Research Institute (EPRI)* kasus kerusakan motor induksi sebanyak 6.312 kasus, dan survey dari *Institute of Electrical and Electronics Engineers Industry Application Society IEEE-IAS* sebanyak 1.141 kasus, didapatkan presentase kerusakan bagian motor terdiri dari kerusakan *bearing* 41% - 42%, kerusakan belitan stator 28% - 36%, kerusakan rotor 8% - 9%, dan kerusakan lainnya 14% - 28% [3]. Salah satu jenis kerusakan terbesar yang sering ditemui pada motor induksi

yaitu kerusakan bearing. Penyebab terjadinya kerusakan bearing disebabkan karena kurangnya pelumasan, aus, korosi, dan kelebihan beban. Kerusakan bearing dapat menyebabkan terjadinya vibrasi (getaran), *noise* (bising), peningkatan suhu kerja, serta dapat menimbulkan percikan bunga api yang dapat merambat pada bagian motor induksi yang lain dan akan menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu monitoring kondisi motor diperlukan untuk meminimalisir kerusakan lebih parah [4].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Purnamasari, (2019) yang membahas tentang monitoring kondisi *ball bearing* pada motor induksi menggunakan *feature extraction wavelet*. Pada penelitian ini melakukan ekstraksi data arus dari 4 jenis kondisi bearing motor induksi. Analisis data tersebut yaitu membandingkan energi rata-rata data arus kondisi bearing normal dengan energi rata-rata data arus motor kondisi bearing uji. Tingkat akurasi tertinggi pada pengujian yang telah dilakukan yaitu sebesar 96%. Namun metode ini hanya dapat membedakan jenis motor normal dengan motor rusak sehingga kurang efektif untuk melakukan analisis lokasi kerusakan yang terjadi [5]. Penelitian selanjutnya terkait deteksi kerusakan *bearing* motor induksi yaitu *feature extraction* menggunakan *Fast Forier Transform (FFT)*. *FFT* digunakan untuk mengolah data sinyal menjadi respon domain frekuensi. Didalam penelitian ini, analisa frekuensi dilakukan dengan cara mengamati kenaikan amplitude pada frekuensi komponen motor. Namun metode *FFT* kurang cocok untuk meneliti sinyal non-linear.

Berdasarkan penelitian terdahulu maka penelitian ini akan membahas deteksi kerusakan *inner race bearing* dengan *feature extraction STFT* menggunakan sinyal suara. Pendekatan *STFT* diambil sebagai pendekatan algoritma pengolahan sinyal dikarenakan sifat sinyal suara yang non linier. *STFT* adalah metode analisis spektrum yang merupakan pengembangan metode *FFT*. Metode *STFT* ini memiliki keunggulan dibandingkan *FFT* karena dapat menampilkan perubahan frekuensi berdasarkan waktu dimana perubahan frekuensi dari satuan waktu sangat dibutuhkan ketika melakukan analisa *noise reduction*. Metode *STFT* mengambil nilai tengah grafik suatu *window* kemudian dipotong dalam suatu waktu tertentu dan hasil dari pemotongan *window* akan diperlebar agar *ripple* dapat terbaca dengan jelas. Pengolahan sinyal suara dan diagnosis kondisi *inner race bearing* dilakukan secara *realtime* menggunakan *raspberry pi*. Sinyal suara didapat dari *microphone* kemudian diolah oleh *raspberry pi* yang telah diprogram, dimana pemrograman berisi algoritma *feature extraction* dan analisis data untuk diagnosis kondisi *inner race bearing*. Analisis frekuensi diaplikasikan untuk menentukan kondisi *inner race bearing*. Kondisi *inner race bearing* yang di uji yaitu kondisi *inner race bearing* yang mengalami keretakan dan korosi. Tampilah hasil diagnosis *inner race bearing* akan menampilkan pada display. Hasil dari penelitian didapatkan akurasi deteksi kerusakan *inner race bearing* sebesar 98.7%.

II. STUDI PUSTAKA

A. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang berfungsi untuk mengubah energi listrik

menjadi energi mekani atau energi gerak. Motor induksi yang biasanya digunakan adalah motor induksi tiga fasa dan satu fasa. Dilihat dari kesederhanaanya, konstruksinya yang kuat, kokoh dan mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa cocok dan paling banyak digunakan dalam kalangan industri [6]. Adanya perbedaan relatif antara antara putaran *rotor* dan medan putar *stator* yang menyebabkan adanya medan yang terinduksi. Putaran motor induksi disebabkan karena adanya medan magnet yang berputar dan dihasilkan oleh belitan *stator* [7]. Belitan *stator* akan mengakibatkan timbulnya medan magnet yang berputar dengan kecepatan *sinkron*. Medan putar pada *stator* akan memotong konduktor pada *rotor* sehingga terinduksi arus dan menyebabkan *rotor* berputar bersama dengan medan putar.

B. Bearing

Bearing merupakan komponen motor induksi yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada dudukan elemen berputar yang disebut rotor. Konstruksi bearing terdiri dari *outer-race*, *inner-race* dan *ball bearing* [8]. Dalam pengoperasian motor induksi *bearing* merupakan komponen yang paling rawan terjadi kerusakan [9]. Mendeteksi kerusakan pada *bearing* sangatlah penting dikarenakan kerusakan pada *bearing* dapat menimbulkan dampak negatif terhadap keandalan dari motor induksi [10]. *Inner Race Bearing* adalah bagian yang terletak pada bagian paling dalam pada komponen *bearing*. Umumnya berbahan sama seperti *outer bearing*, bagian *inner bearing* umumnya mengalami kerusakan keretakan. Ketika kedua bagian poros mengalami kerusakan, yang akan terjadi adalah ketidakseimbangan putaran rotor. *Bearing* menyebabkan rotor asimetri dengan *stator* sehingga timbul *noise* pada *rotor*. *noise* tersebut menyebabkan terbentuknya frekuensi harmonisa.

$$f_i = \left(\frac{Nb}{2} \times nm\right)(1 + db/Dp \times \cos \alpha) \quad (1)$$

C. Short-Time Fourier Transform (STFT)

Short-Time Fourier Transform merupakan algoritma transformasi yang digunakan untuk mendekomposisi suatu sinyal kompleks menjadi sinyal sinus yang lebih sederhana. *STFT* akan merubah sinyal menjadi *time-frequency*. *STFT* adalah metode transformasi yang dikembangkan dari metode *Fast Fourier Transform* dengan adanya kelebihan pada kemampuan untuk mentransformasikan sinyal *non-stasioner* (sinyal bergerak) [11].

D. Sinyal Suara

Sinyal suara adalah salah satu sinyal yang sangat dipengaruhi frekuensi dan merupakan bentuk sinyal kontinyu yang sangat dipengaruhi oleh waktu. Frekuensi suara adalah getaran sinyal yang terdengar oleh manusia yang dihasilkan oleh gelombang bunyi yang memiliki frekuensi antara 20 Hz hingga 20.000 Hz yang sebagai frekuensi tertinggi yang dapat didengar [12].

E. Rasperry Pi

Rasperry Pi yang biasanya disingkat menjadi Raspi merupakan komputer papan tunggal (*Single Board Circuit*). *Rasperry Pi* dikembangkan di Inggris oleh

Raspberry Pi Foundation pada tahun 2011 dengan tujuan untuk mempromosikan pendidikan dasar ilmu komputer yang berfungsi untuk menjalankan OS Linux dan aplikasi seperti multimedia (audio, video dan gambar), pemrograman (QT, Python, C++) dan server database. Desain Raspberry Pi didasarkan seputar SoC (System-on-a-chip) Broadcom BCM2835, yang telah menanamkan prosesor ARM1176JZF-S dengan 700 MHz, VideoCore IV GPU, dan 256 Megabyte RAM (model B). Penyimpanan data didesain untuk tidak menggunakan hard disk atau solidstate drive, melainkan untuk mengandlkan kartu SD (SD memory card) untuk booting dan penyimpanan jangka panjang

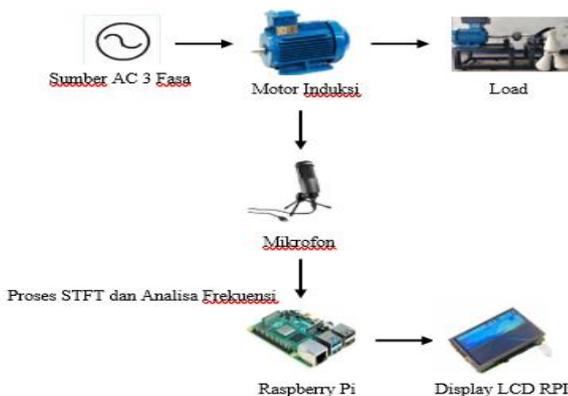
F. Python

Python adalah bahasa pemograman yang hampir banyak digunakan dalam aplikasi web, pengembangan perangkat lunak, ilmu data dan machine learning. Python merupakan bahasa pemograman yang banyak digunakan karena efisien dan mudah dipelajari serta dapat dijalankan di berbagai platform. Pustaka yang sering digunakan pada program python yaitu : Matplotlib, pandas, NumPy, Requests, OpenCV-python

III. METODE

A. Konfigurasi Sistem

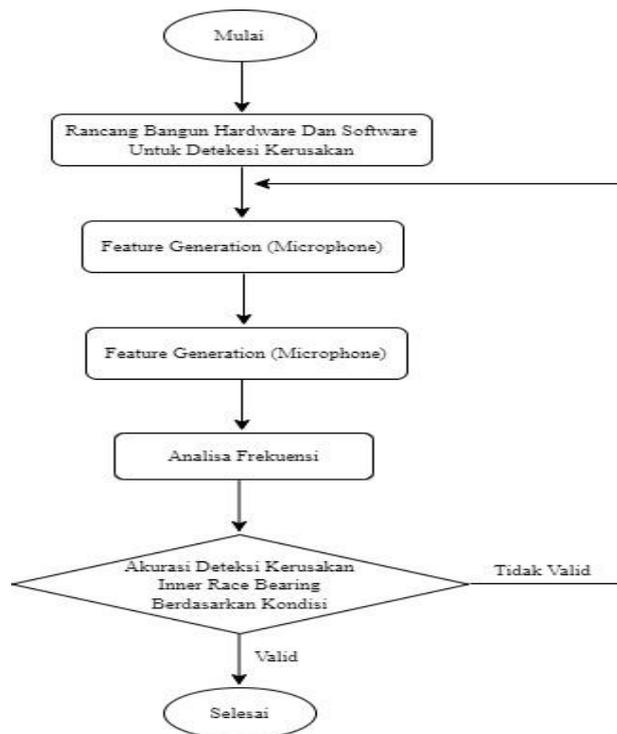
Pada penelitian ini deteksi kerusakan inner race bearing motor induksi 3 fasa dilakukan secara realtime menggunakan data sinyal suara melalui mikrofon. Penelitian ini menggunakan beberapa komponen peralatan antara lain : sumber AC 3 fasa, perangkat sensor suara (microphone), pengolah data suara dan analisis frekuensi (raspberry), motor induksi 3 fasa. Sumber AC 3 fasa akan menyuplai motor induksi untuk beroperasi. Setelah motor induksi 3 fasa beroperasi diberikan beberapa pengujian yaitu pengujian bearing dengan kerusakan bervariasi dan pengujian motor berbeban/tanpa beban (no load). Dimana sinyal suara dari motor akan ditangkap oleh mikrofon, kemudian data sinyal suara yang telah didapatkan akan diolah menggunakan metode STFT yang telah terprogram pada raspberry. Setelah pengolahan sinyal suara dan diagnosis kondisi bearing selesai maka hasil diagnosis akan ditampilkan pada layar lcd. Lcd ini menampilkan data berupa grafik sinyal frekuensi dan hasil diagnose kondisi sehat atau rusak.



Gambar 1 Konfigurasi Sistem

B. Diagram Alir

Tahapan penelitian bertujuan sebagai pedoman pengerjaan penelitian agar menghasilkan kesimpulan yang akurat. Pada penelitian ini akan melakukan penelitian deteksi kerusakan inner bearing motor induksi berdasarkan sinyal suara secara realtime menggunakan raspberry dengan feature extraction STFT. Adapun tahapan-tahapan dalam melakukan proses penelitian adalah sebagai berikut : data diagnosa kerusakan inner race bearing motor induksi menggunakan sinyal suara. Sinyal suara kemudian diproses dengan metode transformasi STFT sebagai feature extraction untuk mengetahui karakteristi frekuensi sinyal suara. Analisis frekuensi akan menentukan kondisi inner race bearing apakah dalam kondisi sehat atau rusak.



Gambar 2 Diagram Alir

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan pengujian diagnosa kerusakan dini bearing pada motor induksi melalui sinyal suara dengan feature extraction STFT secara realtime :

1. Merancang hardware raspberry pi sistem deteksi kerusakan dan merancang software sistem deteksi kerusakan dengan menggunakan bahasa pemrograman python
2. Mengoperasikan motor induksi sebagai sumber data suara. Sinyal suara motor induksi kondisi bearing sehat digunakan sebagai referensi. Data tersebut akan dijadikan database yang tersimpan di miniPC Raspberry
3. Selanjutnya data suara tersebut akan diproses melalui hardware raspberry pi dengan feature extraction dengan algoritma STFT yang sudah dirancang
4. Analisis frekuensi diaplikasikan untuk menentukan kondisi inner race bearing
5. Tampilah hasil diagnosis inner race bearing sehat atau rusak akan ditampilkan pada display
6. Pengambilan data dilakukan pada beberapa kondisi

7. kerusakan pada *inner race bearing* yaitu : Pengambilan data pada kondisi kerusakan *inner race bearing* untuk kondisi *inner normal*, *inner retak*, dan *inner korosi* 0 N, 30 N, dan 50 N
8. Perubahan variasi kerusakan dilakukan pada *bearing* bagian belakang (*end*)
9. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali agar memperoleh akurasi data yang baik
10. Setelah memperoleh semua data dari sinyal suara yang dihasilkan oleh motor induksi, kemudian melakukan analisa keberhasilan deteksi kondisi *bearing*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kondisi *bearing* pada motor induksi dilakukan dengan 2 kasus kerusakan dan variasi pembebanan yang berbeda. Kasus kerusakan *bearing* tersebut yaitu kerusakan pada *inner race retak* dan korosi pada pembebanan 0 N, 30 N, dan 50 N. Pemberian beban mekanik sebagai pengereman dapat mempengaruhi amplitude sinyal motor pada berbagai frekuensi. Data suara yang telah diolah akan dianalisa pada titik frekuensi *inner race bearing* untuk dibandingkan dengan nilai amplitude motor uji untuk mengetahui keberhasilan deteksi secara *realtime*.

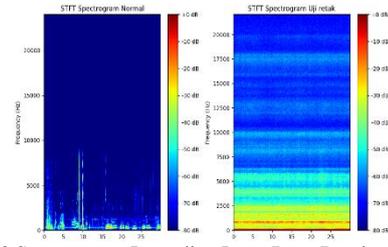
Pengujian pengujian akan dilakukan sebanyak 5 kali dari setiap kasus kerusakan *bearing* dan variasi pembebanan, dimana setiap pengujian akan dihitung presenatase keberhasilannya dengan rumus :

Keberhasilan Deteksi (%) =

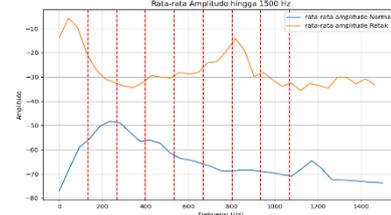
$$\frac{\text{jumlah terdeteksi valid}}{\text{jumlah data}} \times 100\% \quad (2)$$

A. Pengujian *Inner Race Bearing* Kondisi Retak Dengan Beban Mekanik 0 Newton

Pada pengujian pertama ini akan dibahas analisa kerusakan *bearing* pada motor induksi secara *realtime* dengan kasus kerusakan *inner race bearing* retak tanpa beban. Dengan membandingkan hasil nilai amplitude referensi dengan hasil nilai amplitude pengujian dari masing masing frekuensi *harmonic* maka dapat ditentukan validasi hasil deteksi kerusakan. Gambar 3 menunjukkan perbandingan *spectrogram* dapat dilihat adangan perbedaan range amplitude. Warna-warna yang ada didalam *spectrogram* menunjukkan nilai amplitude pada frekuensi dengan nilai yang tertera. Semakin berwarna merah pada *spectrogram* maka nilai amplitude akan semakin besar. Kemudian akan menampilkan grafik *mean spectrum* untuk pengamatan perbandingan *bearing* sehat dan *bearing* uji bisa lihat pada Gambar 4. Langkah selanjutnya membuat tabel data untuk membandingkan nilai amplitude referensi dengan nilai amplitude pengujian pada kondisi pengujian *inner race bearing* tanpa beban untuk mengetahui berapa akurasi dan persentase keberhasilan sistem monitoring mendapatkan 100% (Tabel 1).



Gambar 3 Spectrogram Pengujian *Inner Race Bearing* Retak 0 N



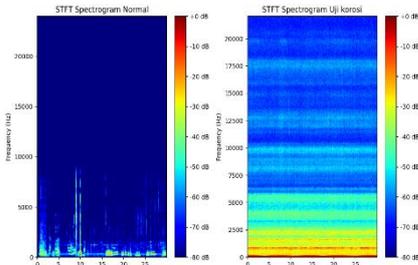
Gambar 4 Mean Spectrum *Inner Race* Retak 0 N

Table 1 Pengujian Deteksi Kerusakan *Inner Race* Retak 0 N

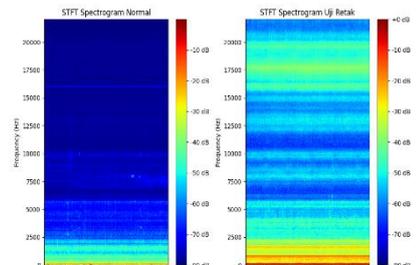
Frekuensi Harmonic	Frekuensi Referensi	Amplitude Refensi (dB)	Amplitude Uji 1 (dB)	Hasil Deteksi	
				Valid	Tidak Valid
f_{x1}	133.6	-55.56	-20.57	1	
f_{x2}	267.1	-48.9	-32.36	1	
f_{x3}	400.7	-56.1	-32.31	1	
f_{x4}	534.3	-61.43	-30.08	1	
f_{x5}	667.8	-65.53	-28.86	1	
f_{x6}	801.4	-68.86	-23.71	1	
f_{x7}	935	-68.97	-19.27	1	
f_{x8}	1068.5	-70.92	-31.28	1	
Jumlah Kondisi Terdeteksi			Sehat	0	
			Rusak	8	
Keberhasilan Terdeteksi %			Percobaan 1	100%	

B. Pengujian *Inner Race Bearing* Kondisi Korosi Dengan Beban Mekanik 0 Newton

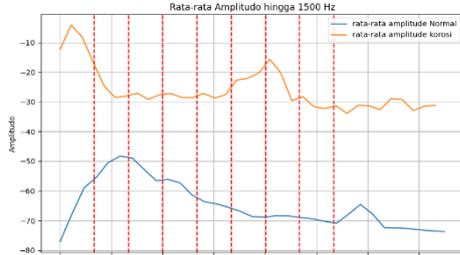
Setelah melakukan pengujian pertama pada *inner race bearing* dengan kondisi *bearing* retak tanpa beban, selanjutnya akan melakukan pengujian pada *inner race bearing* dengan memberikana kecatatan berupa korosi tanpa beban. Gambar 5 *spectrogram* antara *inner bearing* sehat dengan *inner bearing* korosi dapat dilihat ada pola berwarna merah yang warnanya mencolok sebesar sekitar 0 dB. Untuk dapat melihat perbedaan yang lebih jelas, perlu dilakukan rata-rata *spectrum* pada *spectrogram*. Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai amplitude pada frekuensi $f_{x1} - f_{x8}$ *inner race bearing* korosi tanpa beban memiliki nilai yang lebih tinggi daripada nilai amplitude. Tabel 2 menunjukkan hasil nilai amplitude pengujian lebih besar dibandingkan dengan hasil nilai amplitude referensi dengan nilai 8:0.



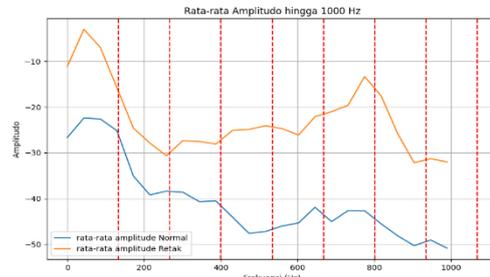
Gambar 5 Spectrogram Pengujian Inner Race Bearing Korosi 0 N



Gambar 7 Spectrogram Pengujian Inner Race Bearing Retak 30 N



Gambar 6 Mean Spectrum Inner Race Korosi 0 N



Gambar 8 Mean Spectrum Inner Race Retak 30 N

Tabel 2 Pengujian Deteksi Kerusakan Inner Race Korosi 0 N

Inner Race Bearing Korosi Pada Pembebanan 0 N

Frekuensi Harmonic	Frekuensi Referensi	Amplitude Refensi (dB)	Amplitude Uji 1 (dB)	Hasil Deteksi	
				Valid	Tidak Valid
f_{x1}	133.6	-55.56	-16.64	1	
f_{x2}	267.1	-48.9	-28.02	1	
f_{x3}	400.7	-56.1	-27.6	1	
f_{x4}	534.3	-61.43	-28.47	1	
f_{x5}	667.8	-65.53	-28.7	1	
f_{x6}	801.4	-68.86	-22.06	1	
f_{x7}	935	-68.97	-20.23	1	
f_{x8}	1068.5	-70.92	-31.6	1	
Jumlah Kondisi Terdeteksi			Sehat	0	
			Rusak	8	
Keberhasilan Terdeteksi %			Percobaan 1	100%	

Tabel 3 Pengujian Deteksi Kerusakan Inner Race Retak 30 N

Inner Race Bearing Retak Pada Pembebanan 30 N

Frekuensi Harmonic	Frekuensi Referensi	Amplitude Refensi (dB)	Amplitude Uji 1 (dB)	Hasil Deteksi	
				Valid	Tidak Valid
f_{x1}	133.6	-25.16	-15.76	1	
f_{x2}	267.1	-38.38	-30.62	1	
f_{x3}	400.7	-40.54	-28.09	1	
f_{x4}	534.3	-47.21	-24.09	1	
f_{x5}	667.8	-45.04	-21.02	1	
f_{x6}	801.4	-45.53	-17.53	1	
f_{x7}	935	-49.08	-31.29	1	
f_{x8}	1068.5	-53.81	-34.99	1	
Jumlah Kondisi Terdeteksi			Sehat	0	
			Rusak	8	
Keberhasilan Terdeteksi %			Percobaan 1	100%	

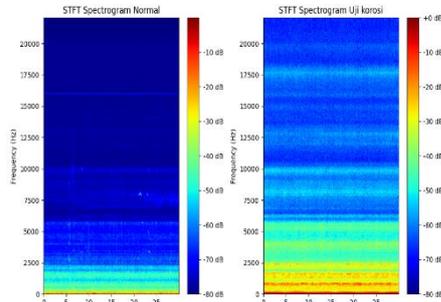
C. Pengujian Inner Race Bearing Kondisi Retak Dengan Beban Mekanik 30 N

Pada pengujian ini membahas tentang sama hal nya dengan pengujian sebelumnya tetapi hanya saja berbeda pada pemberian beban mekaniknya saja. Pengujian ini dilakukan dengan menganalisa fekuensi harmonic pada *inner race bearing* dengan memberikan beban mekanik 30 N. Gambar 7 spectrogram motor kondisi inner race bearing retak memiliki range amplitude tertinggi 0 dB sedangkan pada motor sehat range amplitude tertinggi -25 dB. Gambar 8 merupakan grafik mean spectrum. Pada mean spectrum dapat diamati bahwa nilai amplitude pada motor dengan konidisi inner race bearing retak lebih tinggi disbanding dengan kondisi bearing sehat. Untuk dapar melihat lebih jelas persentase keberhasilan perbandingan nilai amplitude pengujian dengan referensi dapat bisa dilihat pada Tabel 3 mendapatkan sebesar 100%.

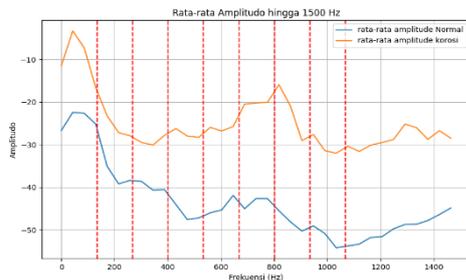
D. Pengujian Inner Race Bearing Kondisi Korosi Dengan Beban Mekanik 30 N

Setelah melakukan pengujian ketiga pada *inner race bearing* retak dengan kondisi bearing retak dengan pemberian variasi beban mekanik 30 N, selanjutnya akan melakukan pengujian pada *inner race bearing* korosi dengan pemberian variasi beban mekanik 30 N. Kerusakan berupa *inner race bearing* korosi ini memberikan dampak yang cukup buruk ke motor induksi karena menyebabkan *bearing* melekat pada poros dan menyebabkan suara dari motor induksi menjadi kasar. Maka pada pengujian inner korosi ini bisa mendapatkan hasil nilai amplitude yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil nilai amplitude referensi. Gambar 9 adanya perbedaan yang cukup mencolok pada spectrogram. Dapat diamati bahwa spectrogram bearing sehat memiliki nilai amplitude sebesar -35 dB di frekuensi tertentu. Nilai amplitude pada spectrogram bearing sehat tentu saja lebih rendah jika dibandingkan dengan

spectrogram bearing uji yang memiliki nilai amplitude sebesar -10 dB. Gambar 10 merupakan rata-rata amplitude dari *spectrogram*. Hasil amplitude yang tertera akan ditunjukkan dalam tabel untuk mengetahui tingkat keakurasiannya dapat dilihat pada Tabel 4. Dapat diamati bahwa pada setiap frekuensi harmonik ($f_{x1} - f_{x8}$), nilai amplitude uji lebih tinggi dibandingkan dengan nilai amplitude referensi yang menyatakan bahwa bearing dalam kondisi rusak serta memiliki persentase sebesar 100%.



Gambar 9 Spectrogram Pengujian Inner Race Bearing Korosi 30 N



Gambar 10 Mean Spectrum Inner Race Korosi 30 N

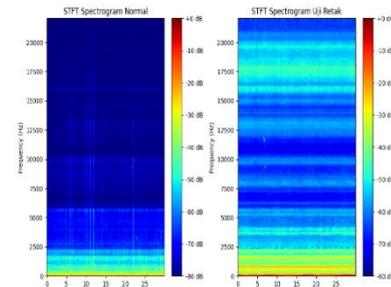
Tabel 4 Pengujian Deteksi Kerusakan Inner Race Korosi 30 N

Inner Race Bearing Korosi Pada Pembebanan 30 N					
Frekuensi Harmonic	Frekuensi Referensi	Amplitude Refensi (dB)	Amplitude Uji 1 (dB)	Hasil Deteksi	
				Valid	Tidak Valid
f_{x1}	133.6	-25.16	-16.54	1	
f_{x2}	267.1	-38.38	-27.93	1	
f_{x3}	400.7	-40.54	-27.81	1	
f_{x4}	534.3	-47.21	-28.26	1	
f_{x5}	667.8	-45.04	-20.47	1	
f_{x6}	801.4	-45.53	-15.91	1	
f_{x7}	935	-49.08	-27.61	1	
f_{x8}	1068.5	-53.81	-30.36	1	
Jumlah Kondisi Terdeteksi			Sehat	0	
			Rusak	8	
Keberhasilan Terdeteksi %			Percobaan 1	100%	

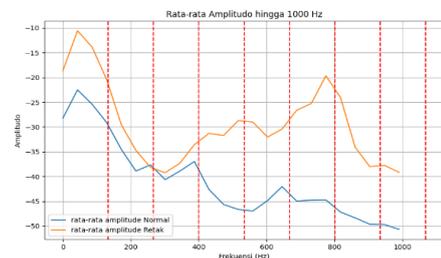
E. Pengujian Inner Race Bearing Kondisi Retak Dengan Beban Mekanik 50 N

Pada pengujian ini membahas tentang sama hal nya dengan pengujian sebelumnya tetapi hanya saja berbeda pada pemberian beban mekaniknya saja. Dimana proses pengolahannya sama dengan sub sub bab sebelumnya dengan melakukan pengujian pada kondisi *inner race*

bearing retak 50 N. Gambar 11 dapat diamati tingkat kecerahan pada *spectrogram inner race* retak ini lebih dominan dibandingkan dengan *spectrogram* pada motor referensi yang mengidentifikasi bahwa amplitude pada *spectrogram* uji memiliki nilai yang lebih tinggi daripada *spectrogram* sehat. Untuk dapat melihat lebih jelas perbandingan amplitude maka dibuat grafik *mean spectrum* yang merupakan nilai rata-rata *spectrum* pada *spectrogram* (Gambar 12).



Gambar 11 Spectrogram Pengujian Inner Race Bearing Retak 50 N



Gambar 12 Mean Spectrum Inner Race Retak 50 N

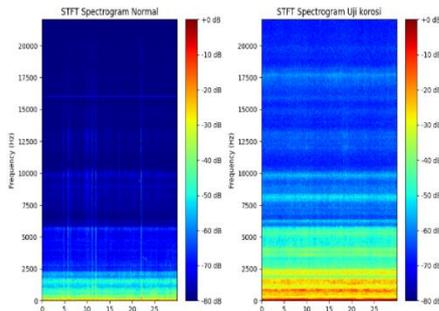
Tabel 5 Pengujian Deteksi Kerusakan Inner Race Retak 50 N

Inner Race Bearing Retak Pada Pembebanan 50 N					
Frekuensi Harmonic	Frekuensi Referensi	Amplitude Refensi (dB)	Amplitude Uji 1 (dB)	Hasil Deteksi	
				Valid	Tidak Valid
f_{x1}	133.6	-29.11	-20.44	1	
f_{x2}	267.1	-37.64	-38.16		0
f_{x3}	400.7	-36.97	-33.56	1	
f_{x4}	534.3	-46.65	-28.71	1	
f_{x5}	667.8	-44.96	-26.63	1	
f_{x6}	801.4	-47.18	-24.05	1	
f_{x7}	935	-49.68	-37.74	1	
f_{x8}	1068.5	-54.09	-40.81	1	
Jumlah Kondisi Terdeteksi			Sehat	1	
			Rusak	7	
Keberhasilan Terdeteksi %			Percobaan 1	87.5%	

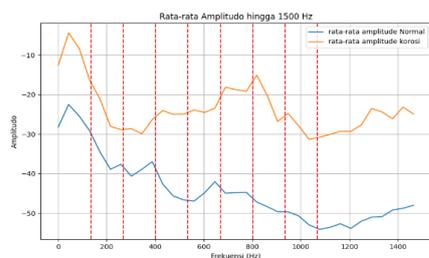
Table 5 nilai 1 dan 0 pada kolom hasil deteksi menunjukkan terdeteksi atau tidaknya kerusakan *inner race bearing* retak pada pembebanan 50 N. Dimana nilai 1 menunjukkan terdeteksi dan nilai 0 menunjukkan tidak terdeteksi atau dinyatakan sehat diakrenakan pada frekuensi harmonik f_{x2} , nilai amplitude uji mendapat nilai -38.16 lebih kecil dibandingkan dengan nilai amplitude uji sebesar -37.64.

F. Pengujian Inner Race Bearing Kondisi Korosi Dengan Beban Mekanik 50 N

Setelah melakukan pengujian kelima pada *inner race retak bearing* dengan kondisi bearing retak pada pembebanan 50 N, selanjutnya pengujian dilakukan pada *inner race bearing korosi* pada pembebanan 50 N. Dimana proses pengolahannya sama dengan sub bab sebelumnya. Gambar 13 adalah tampilan perbandingan spectrogram dari pengujian *inner race bearing korosi* pada pembebanan 50 N. Setelah menampilkan spectrogram, kemudian amplitude *spectrogram* akan di rata-rata dan akan ditampilkannya pada grafik mean *spectrum* bisa dilihat pada Gambar 14. Tabel 6 menunjukkan perbandingan hasil amplitude referensi dan amplitude uji pada seluruh frekuensi harmonic didapatkan bahwa persentase sebesar 100%.



Gambar 13 Spectrogram Pengujian Inner Race Bearing Korosi 50 N



Gambar 14 Mean Spectrum Inner Race Korosi 50 N

Tabel 6 Pengujian Deteksi Kerusakan Inner Race Korosi 50 N

Inner Race Bearing Korosi Pada Pembebanan 50 N					
Frekuensi Harmonic	Frekuensi Referensi	Amplitude Refensi (dB)	Amplitude Uji 1 (dB)	Hasil Deteksi	
				Valid	Tidak Valid
f_{x1}	133.6	-29.11	-16.28	1	
f_{x2}	267.1	-37.64	-28.88	1	
f_{x3}	400.7	-36.97	-26.34	1	
f_{x4}	534.3	-46.65	-24.97	1	
f_{x5}	667.8	-44.96	-18.16	1	
f_{x6}	801.4	-47.18	-15.09	1	
f_{x7}	935	-49.68	-24.79	1	
f_{x8}	1068.5	-54.09	-30.78	1	
Jumlah Kondisi Terdeteksi			Sehat	0	
			Rusak	8	
Keberhasilan Terdeteksi %			Percobaan	1	100%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini membahas membahas tentang monitoring kondisi bearing secara realtime berdasarkan sinyal suara dengan pengolahan sinyal menggunakan metode *short time fourier transform (STFT)*. hasil akhir yang didapatkan melalui proses pengambilan 5 kali pengujian data suara dari setiap kondisi kerusakan, pengujian dan pengolahan data sinyal suara menggunakan metode *STFT* terkait sistem deteksi kerusakan *bearing*, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut : hasil akurasi sistem deteksi kerusakan inner race bearing sebesar 98.7%

REFERENSI

- [1] Inayati, W., & Effendy, M. (2021). Identifikasi Kerusakan Outer Race Bearing. *Journal of Mechatronic and Electrical Engineering*, 1(1), 8–18. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/jmee>.
- [2] Alshorman, O., Alkahatni, F., Masadeh, M., Irfan, M., Glowacz, A., Althobiani, F., Kozik, J., & Glowacz, W. (2021). Sounds and acoustic emission-based early fault diagnosis of induction motor: A review study. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(2), 1–19. <https://doi.org/10.1177/1687814021996915>
- [3] Aninapure, A., Siahpour, S., Li, X., Majid, F., & Lee, J. (2022). Intelligent Robust Cross-Domain Fault Diagnostic Method for Rotating Machines Using Noisy Condition Labels. *Mathematics*, 10(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/math10030455>
- [4] Lee, W. J., Xia, K., Denton, N. L., Ribeiro, B., & Sutherland, J. W. (2021). Development of a speed invariant deep learning model with application to condition monitoring of rotating machinery. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(2), 393–406. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01578-x>
- [5] Purnamasari, E. R., D.P.K, I., & Belly Yan Dewantara. (2019). Monitoring Kondisi Ball Bearing Pada Motor Induksi Melalui Analisa Arus Stator Berbasis Wavelet Transform. *Prosiding SNSI*, 10, 48–53
- [6] Navasari, E. V. A. (2018). Deteksi Kerusakan Bearing Motor Induksi Dengan Analisa Arus Starting Menggunakan Transformasi Wavelet.
- [7] Fathurrohman, M., Lambang G. H, R. L., & Susilo, D. D. (2019). Diagnosa Kerusakan Bantalan Bola Menggunakan Metode Support Vector Machine. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, 18(1), 14–21. <https://doi.org/10.20961/mekanika.v18i1.35041>
- [8] Cao, L., Shen, Y., Shan, T., Xia, Y., Wang, J., & Lin, Z. (2019). Bearing Fault Diagnosis Method Based on GMM and Coupled Hidden Markov Model. *Proceedings - 2018 Prognostics and System Health Management Conference, PHM-Chongqing 2018*, 932–936. <https://doi.org/10.1109/PHM-Chongqing.2018.00166>
- [9] Zamudio-Ramirez, I., Osornio-Rios, R. A., Antonino-Daviu, J. A., CureñoOsornio, J., & Saucedo-Dorantes, J. J. (2021). Gradual wear diagnosis of outer-race rolling bearing faults through artificial intelligence methods and stray flux signals. *Electronics (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/electronics10121486>
- [10] Nirwan, N. W., & Ramani, H. B. (2021). Condition monitoring and fault detection in roller bearing used in rolling mill by acoustic emission and vibration analysis. *Materials Today: Proceedings*, 51(xxxx), 344–354. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.44>
- [11] Ashshiddieqy, M. H., Jondri, & Rizal, A. (2020). Klasifikasi Suara Paru Dengan Convolutional Neural Network (CNN). *EProceedings of Engineering*, 7(2), 8506–8512
- [12] Sun, D., Xu, Z., & Yuan, Y. J. (2017). Detection of abnormal noises from tapered roller bearings by a sound sensing system. *2017 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, M2VIP 2017, 2017-Decem*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/M2VIP.2017.8>