



Identifikasi Kerusakan Outer Race Bearing Motor Pada Hoist Crane Menggunakan Metode Short Time Fourier Transform (STFT)

Wahidah Inayati^{#1}, Nurhadi², Machmud Effendy³

Info Artikel dan Penulis

1,2,3 - Program Studi Teknik Elektro,
Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Tlogomas No. 246, Malang,
Indonesia

Penulis korespondensi:
inayatiwahidah59@gmail.com

Kata Kunci:

Motor Induksi, Bearing, Outer Race, Short Time Fourier Transform

Proses Artikel:

Dikirim 6 April 2021
Direvisi 7 April 2021
Diterima 22 April 2021
Diterbitkan online 22 April 2021

Abstrak

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan. Penggunaan motor di perusahaan industri adalah sebagai penggerak utama proses produksi, dimana untuk menunjang berbagai sistem produksi. Salah satu mesin penunjang proses produksi adalah mesin hoist crane dimana mesin tersebut termasuk jenis pesawat angkat yang banyak dipakai sebagai alat pengangkat dan pengangkut yang terdapat pada bagian dalam maupun luar pabrik. Menurut survey Electric Power Research Institute (EPRI) ada sebanyak 6.312 kasus kerusakan motor sedangkan survey dari Motor Reliability Working Group IEEE-IAS ada sebanyak 1.141 kasus kerusakan motor. Survey tersebut banyak disumbang oleh kerusakan bearing baik dari outer-race maupun inner-race yaitu sekitar 41-44% kerusakan. Sehingga diperlukan adanya pendeteksian awal kerusakan pada bagian outer race bearing motor hoist crane sebelum kerusakannya menjadi semakin parah. Pengolahan data dilakukan oleh program Microsoft Excel yang kemudian menjadi data inputan untuk diolah dengan pemberian algoritma Short Time Fourier Transform (STFT) menggunakan aplikasi MATLAB 2016a. Pengujian juga dilakukan dengan cara pemberian beban variasi tanpa beban, beban seperempat, beban setengah, beban tigaperempat dan beban penuh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma short time fourier transform (STFT) mampu mendeteksi perbedaan kondisi bearing normal maupun rusak pada bagian outer race bearing yang terdapat di motor induksi.

Abstract

Induction motors are the most widely used alternating current (AC) motors. The use of motors in industrial companies is the main driver of the production process, which is to support various production systems. One of the supporting machines for the production process is the hoist crane machine, which is a type of lift that is widely used as a means of lifting and transporting inside and outside the factory. According to a survey by the Electric Power Research Institute (EPRI), there were 6,312 cases of motor failure, while a survey from the IEEE-IAS Motor Reliability Working Group showed 1,141 cases of motor failure. The survey was largely contributed by bearing damage from both the outer-race and inner-race, which was around 41-44% of the damage. So it is necessary to detect early damage to the outer race bearing of the hoist crane motor before the damage gets worse. Data processing is carried out by the Microsoft Excel program which then becomes input data to be processed by providing the Short Time Fourier Transform (STFT) algorithm using the MATLAB 2016a application. Testing is also carried out by giving variation loads without load, one-quarter load, half load, three-quarter load and full load. The test results show that the short time Fourier transform (STFT) algorithm is able to detect differences in normal and damaged bearing conditions in the outer race bearing part of the induction motor.

Inayati, W., Nurhadi, N., & Effendy, M. (2021). Identifikasi Kerusakan Outer Race Bearing Motor Pada Hoist Crane Menggunakan Metode Short Time Fourier Transform. Journal of Mechatronics and Electrical Engineering, Vol. 1(1), pp: 8-18, April 2021, <https://doi.org/10.22219/jmee.xxxx.xxxx>

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan prinsip induksi. Motor induksi dibagi menjadi dua berdasarkan jumlah fasanya, yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Penggunaan motor induksi tiga fasa cukup banyak digunakan pada dunia industri karena motor induksi tiga fasa memiliki beberapa keunggulan dibanding jenis motor listrik yang lain[1].

Sebuah motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar. Dengan adanya gerakan motor yang lumayan cepat dan dapat di kendalikan, hal itu diakibatkan dari banyaknya komponen yang ada didalamnya. Semua komponen tersebut bahkan bisa dibidang memiliki peranan cukup penting untuk membuat gerak motor tetap pada posisinya[2]. Salah satu alat penting dalam dunia industri yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak adalah *hoist crane*.

Hoist Crane adalah salah satu dari jenis pesawat angkat yang banyak dipakai sebagai alat pengangkat dan pengangkut pada daerah-daerah industri, pabrik, maupun bengkel. Pesawat angkat ini dilengkapi dengan roda dan lintasan rel agar dapat bergerak maju dan mundur sebagai penunjang proses kerjanya[3]. *Hoist Crane* digunakan dalam proses pengangkatan muatan dengan berat ringan hingga muatan dengan berat medium. Adapun salah satu komponen yang memiliki peran vital dalam gerak lincah pada motor hoist crane tersebut adalah *bearing*. Menurut survey *Electric Power Research Institute* (EPRI) ada sebanyak 6.312 kasus kerusakan motor sedangkan survey dari *Motor Reability Working Group* IEEE-IAS ada sebanyak 1.141 kasus kerusakan motor. Survey tersebut banyak disumbang oleh kerusakan *bearing* baik dari *outer-race* maupun *inner-race* yaitu sekitar 41-44% kerusakan[4].

Pada dasarnya gangguan adalah suatu keadaan system yang menyimpang dari keadaan normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas kerja motor. Gangguan pada motor listrik pada umumnya, disebabkan oleh salah satu dari 4 hal berikut yaitu gangguan mekanik, elektrik, *operating system* dan *low insulation resistance*. Ketika terjadi gangguan yang ada maka harus mampu mengisolir gangguan sehingga dapat meminimalisasi kerusakan[5]. Analisis kerusakan pada bearing sudah banyak dilakukan dengan banyak cara, salah satunya dengan pendeteksian berbasis *hilbert transform*[6].

Penelitian sebelumnya membahas tentang pendeteksian dan pendugaan beratnya gangguan outer race bearing pada mesin induksi pada beban operasi yang berbeda. Metode pendeteksian didasarkan pada analisis sinyal arus stator selama kondisi tunak dan mulai dari pada sinyal getaran, yang memberikan manfaat peralatan yang diperlukan. Pada operasi tanpa beban, amplitudo harmonisa relatif lebih rendah daripada kasus 50% dan 100% beban, yang membuatnya sulit untuk mendeteksi kesalahan tanpa operasi beban[7].

Penelitian selanjutnya membahas mengenai metode analisis melalui arus stator pada kondisi steady state yang terjadi pada outer race bearing motor induksi yang dilengkapi dengan algoritma Fast Fourier Transform (FFT). Yang kemudian diaplikasikan pada motor induksi untuk melakukan deteksi kerusakan bearing. Metode fast fourier transform merupakan metode untuk menganalisis data spektrum, pada penelitian ini metode fast fourier transform digunakan untuk mendeteksi spektrum arus pada motor induksi[8].

Pada penelitian lain di lakukan pendeteksian kerusakan bearing pada motor induksi yang menggunakan pendekatan berbasis frekuensi menggunakan metode wavelet diskrit, spektrum frekuensi masing-masing level diturunkan dan itu telah ditunjukkan bahwa dalam level tinggi, kesalahan akan terdeteksi lebih cepat dan sebelumnya. Itu juga ditunjukkan dengan metode yang diusulkan; tingkat keparahan kesalahan juga bisa dievaluasi[9].

Analisa yang penulis akan lakukan pada penelitian ini yaitu membandingkan sinyal hasil keluaran antara bearing normal dan rusak yang telah diberi algoritma STFT. Algoritma *Short time fourier Transform* (Transformasi Fourier Waktu Singkat) adalah suatu metode analisis spektrum yang merupakan pengembangan dari algoritma FFT dimana langkah kerjanya yaitu metode ini akan mengambil nilai tengah dari grafik suatu window lalu grafiknya akan dipotong di suatu waktu tertentu dan hasil pemotongan tersebut dilebarkan agar ripple nya dapat terlihat dan dibaca dengan lebih jelas[10]. Pada pengujian dan pemberian algoritma tersebut dilakukan pada software MATLAB 2016a, yang dimana akan memfokuskan deteksi kerusakan pada bagian *outer race bearing motor hoist crane*.

2. METODE

2.1 Akuisi data

Pada penelitian ini penulis menggunakan data sekunder dimana data didapatkan berdasarkan dari hasil percobaan yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Sehingga dimana didapatkanlah spesifikasi sebagai berikut:

1. Jenis motor yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa dengan kapasitas 2 Horse Power (HP).
2. Memiliki arus sebesar 6,09/3,53 Ampere.
3. Memiliki rating tegangan 220/380 Volt.
4. Memiliki kecepatan sinkron 1.500 Rotasi Per Menit (Rpm).
5. Saat kecepatan beban penuh sebesar 1.390 Rotasi Per Menit (Rpm).
6. Jumlah kutub sebanyak 4 buah.
7. Konfigurasi belitan yang digunakan yaitu hubung *star* (bintang).
8. Pengambilan data dilakukan pada frekuensi sampling sebesar 5 kHz.
9. Jumlah data yang dihasilkan sebanyak 25.000 sampel data selama 5 sekon.
10. Data yang dihasilkan disimpan dalam format file *Technical Data Management Streaming (TDMS)* dan kemudian di pindahkan dalam *software microsoft excel*.

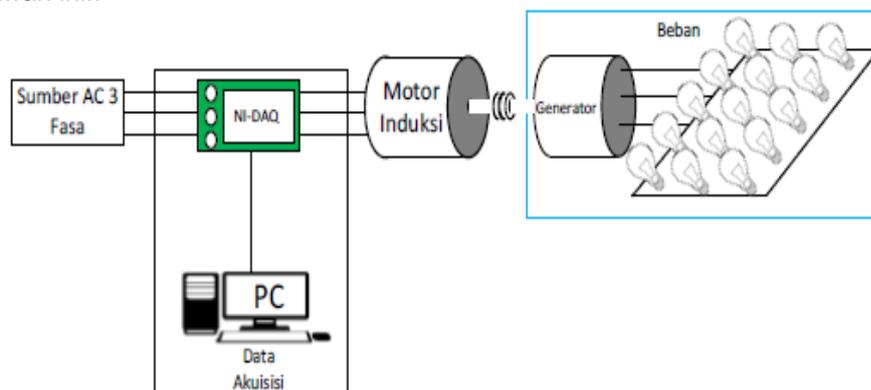
11. Data tersebut kemudian dijadikan *inputan* pada proses pengolahan sinyal berbasis *Short Time Fourier Transform (STFT)* pada software MATLAB 2016a.

Tabel 1. Data Inputan Outer Race Bearing Normal dan Rusak

No	Beban 0%				Beban 25%				Beban 50%				Beban 75%				Beban 100%				
	Normal		Rusak		Normal		Rusak		Normal		Rusak		Normal		Rusak		Normal		Rusak		
	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	Amp	Cur	
1	0.00	3.16	0.02	5.38	0.00	2.69	0.00	3.4	3.88	0.0	0.12	0.1	0.0	0.0	3.42	0.00	4.9	0.00	0.93	0.00	3.75
	6891	2411	2236	0587	0809	5845	667	077	904	731	610	361	030	881	4946	650	1528	2561	7573	4105	
	65	115	349	753	689	19	2	56	5	3	1	01	5	96	941	69	097	766	13	733	
2	0.00	3.18	0.01	5.52	0.00	2.52	0.00	3.4	3.77	0.0	0.08	0.0	0.0	3.21	0.00	4.9	0.00	1.29	0.01	3.86	
	9369	8449	1500	9843	7496	7962	666	492	205	031	914	691	638	214	7723	637	1405	0512	1103	0124	
	748	094	91	866	437	624	2	74	1	68	1	41	45	5	343	94	51	602	168	554	
3	0.00	3.21	0.00	5.68	0.00	2.33	0.00	3.4	-	0.0	0.28	0.2	0.0	3.03	0.00	5.0	0.00	1.67	0.01	3.90	
	9288	4505	3442	5904	7629	9911	200	996	733	143	000	500	191	793	7812	515	1385	0760	1214	6796	
	71	853	768	352	54	431	6	66	737	82	8	08	62	5	386	81	79	24	382	005	
4	0.00	3.26	0.00	5.78	0.00	2.13	0.00	3.4	3.41	0.0	0.53	0.5	0.0	2.84	0.00	5.0	0.00	2.00	0.01	3.94	
	9362	0767	1928	6123	7997	3478	666	802	351	349	132	713	865	207	7784	540	1534	0133	0834	5324	
	02	212	422	094	242	276	8	52	2	78	9	29	04	4	807	86	346	906	978	025	
5	0.00	3.27	0.00	5.82	0.00	1.94	0.00	3.4	3.20	0.0	-	0.8	0.0	2.61	0.00	5.0	0.00	2.28	0.01	4.01	
	9478	6907	1477	8585	9537	0330	172	794	915	814	276	652	308	432	7738	372	1435	5203	0781	7802	
	266	604	836	539	369	386	8	66	8	45	528	8	81	1	563	22	959	192	445	442	
	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst

2.2 Variasi Pembebanan

Pada pengujian ini dilakukan dengan bertujuan untuk mengambil data arus pada motor induksi dimana ada pemberian kecacatan berupa lubang pada bearing, terdapat pula variasi pembebanan pada motor tersebut. Untuk penelitian ini, pembebanan mekanik yang dipakai yaitu generator sinkron dimana motor induksi 3 fasa dikopel dengan generator sinkron yang dibebani dengan serangkaian lampu pijar yang memiliki masing-masing daya sebesar 100 watt untuk beban elektrisnya. Saat motor induksi 3 fasa dikopel dengan generator itulah dilakukan pemberian beban dengan cara bertahap sehingga menjadi bentuk presentase. Hal pertama yang dilakukan yaitu mengukur daya tanpa beban atau saat keadaan beban 0 (nol). Selanjutnya motor dikopel dengan generator dan generator dihubungkan dengan beban lampu untuk variasi beban. Penambahan beban lampu dilakukan secara bertingkat hingga motor mendapatkan beban penuh dengan acuan arus maksimum *rating* pada *namplate* motor sebesar 3,53 *ampere* yang menjadi acuan nilai untuk beban penuh pada motor. Perancangan peralatan yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:.



Gambar 1. Sistem Deteksi Penelitian

2.3 Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari

kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (Emf) atau tegangan induksi. Fluksi pada stator biasanya konstan, kecepatan medan putar stator dapat di tulis dengan menggunakan rumus pada Persamaan 1 berikut :

$$N_s = \frac{120 f}{p} \quad (1)$$

Dimana :

- Ns = Kecepatan putar dari medan putar stator (rpm)
- f = Frekuensi (Hz)
- p = Jumlah Kutub

2.4 Faktor penyebab kerusakan pada motor

Faktor-faktor yang dapat menyebabkan sebuah motor bisa mengalami kerusakan, dapat berasal dari beberapa sebab seperti dari jaringan supply yang termasuk di dalam sistem kerja motor maupun keadaan lingkungan sekitar yang mempengaruhi sebuah motor tidak menjalankan fungsinya secara normal, seperti pengaruh suhu dan pengaruh mekanis lainnya, maupun hal- hal yang tidak terduga yang mampu mempengaruhi keadaan dan kestabilan motor[11].

2.5 Hoist Crane

Berbeda dengan jenis pesawat angkat yang digunakan di daerah terbuka yang struktur rangka memiliki penopang yang berdiri tegak di tanah, pesawat angkat jenis *crane hoist* ini penopangnya adalah sisi kiri dan sisi kanan dari bangunan itu sendiri. Pada *crane hoist* terdapat beberapa komponen utama yang mendukung operasi kerja dari *crane hoist* tersebut.



Gambar 2. Hoist Crane

2.6 Bantalan (Bearing)

Dengan adanya gerakan motor yang lumayan cepat dan dapat di kendalikan, hal itu diakibatkan dari banyaknya komponen yang ada didalamnya. Adapun salah satu komponen yang memiliki peran vital dalam gerak lincah motor tersebut adalah *bearing* (bantalan). *Bearing* motor sendiri merupakan part atau komponen yang memiliki bentuk membulat seperti bulan dengan bagian dalamnya terisi dengan bola gotri atau bola-bola kecil yang akan membuat komponen ini bisa berputar dengan mudah tanpa ada hambatan.



Gambar 3. Bearing

2.7 Short Time Fourier Transform (STFT)

Transformasi Fourier Waktu Singkat adalah suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik frekuensi dari suatu sinyal. *stft* merupakan metode transformasi yang mengembangkan metode *fast fourier transform* dengan kelebihan pada kemampuan untuk mentransformasikan sinyal *non-stationer* (sinyal bergerak). Dimana fungsinya algoritma *stft* sinyal akan dicuplik dalam waktu tertentu. Langkah selanjutnya sinyal yang diterima akan diterjemahkan dalam domain frekuensi. Kemudian sinyal dicuplik selama *t* detik, sehingga akan sinyal tersebut akan diketahui posisinya dalam domain waktu dan frekuensi. Karakteristik dari statistik *stft* berhubungan dengan waktu yang digunakan. Sifat *stft* yaitu mengekstraksi beberapa frame sinyal untuk di analisa menggunakan waktu ekstraksi dari metode *stft* digunakan untuk membantu proses kerja dari *fast fourier transform* sehingga mendapatkan jarak waktu yang diperlukan.

Karena *stft* merupakan perhitungan lanjutan yang bersumber dari *fft*, sehingga pada software MATLAB16a akan melakukan perhitungan secara otomatis dimana sinyal akan dipotong sesuai dengan analisis parameter perintah *wlen* yang diberikan lalu perintah *hop* akan melebarkan jendela yang telah dipotong tadi agar pembacaan lebih mudah dan dilanjutkan dengan pemberian nomer *fft* sehingga kemudian mengolah data sesuai fungsi menghitung spectrogram dengan cara mengembalikan vektor frekuensi *F* dan a vektor kali *T* seperti pada Persamaan 2.

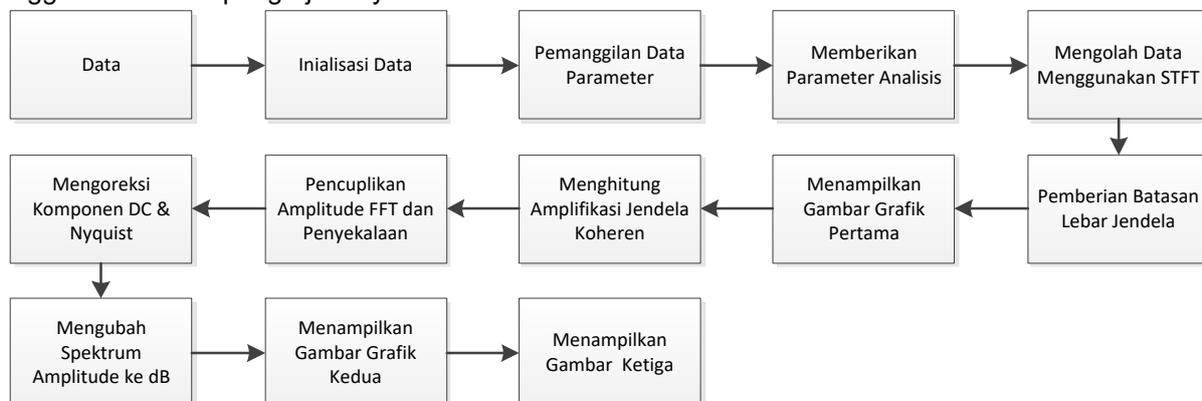
$$STFT(n, k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)\omega(n - mH)e^{-j\omega n} \tag{2}$$

Dimana :

- k = Indeks Frekuensi
- n = Size FFT
- x (n) = Sinyal Input
- ω (n) = Jendela Fungsi
- m = Posisi Jendela
- H = Hop ukuran antara jendela berturut-turut (50%)

2.8 Blok Diagram

Pada gambar 4, penulis mempresentasikan proses pengerjaan dalam bentuk blok diagram agar lebih mudah untuk penggambaran alur pengerjaannya.



Gambar 4. Diagram Blok Main Program

1. Data
Terdapat 25.000 sample data current dan 25.000 sample data amplitude baik dari bearing normal dan bearing rusak yang sudah dipisahkan sesuai pemberian bebannya pada software microsoft excel. Yang kemudian data tersebut dipanggil ke dalam software MATLAB16a.
2. Inialisasi Data
Data beban yang banyak tadi di inialisasi sehingga dapat dilakukan pemanggilan oleh main program.
3. Pemanggilan Data Parameter
Data parameter akan dipanggil sesuai perintah dan dilanjutkan oleh proses selanjutnya.
4. Memberikan Parameter Analisis
Salah satu syarat pada algoritma short time fourier transform harus memberikan analisis parameter :
Wlen (panjang jendela) = 100, karena spectrogram membagi sinyal menjadi beberapa bagian dengan panjang tersebut karena berjendela dengan jendela hamming.
Hop (ukuran hop)=wlen/2, karena fungsinya yang melebarkan wlen agar pembacaan lebih mudah.

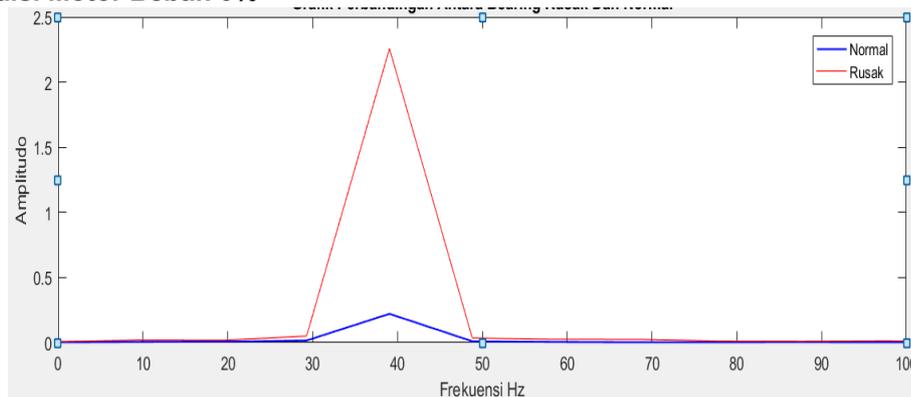
Nfft (jumlah poin DFT) = 256, karena spectrogram menjadikan angka tersebut sebagai nilai parameter maksimum untuk menghitung FFT (256,2p), dimana $p = \lceil \log_2 Nw \rceil$.

5. Mengolah Data Menggunakan STFT
Win = blackman (wlen, 'symmetric')
blackman (N) mengembalikan jendela simetris titik-N Blackman dalam kolom vektor.
Fungsi perintah blackman (N, SFLAG) menghasilkan jendela N-point Blackman menggunakan SFLAG pengambilan sampel jendela. SFLAG bisa berupa 'simetris' atau 'periodik'. Oleh default, jendela simetris dikembalikan. Maksudnya untuk nilai matrix agar jendelanya tidak menyebar.
[S,F,T]=spectrogram(x, win, hop, nfft, frek);
fungsi tersebut akan mengembalikan vektor frekuensi F dan vektor dikali T dimana spectrogram dihitung, dimana S adalah matrix kompleks dengan baris nfft.
6. Pemberian Batasan Jendela
Fungsi limit disini agar saat menampilkan grafik yaitu ukurannya tidak terlalu panjang.
7. Menampilkan Gambar Pertama
Perbandingan grafik antara amplitude dengan frekuensi antara bearing normal dan rusak.
8. Menghitung Amplifikasi Jendela
Dimana harus mendapatkan nilai amplifikasi jendela
9. Pencuplikan Amplitude FFt dan mensekalakannya
Karena sfft merupakan lanjutan dari fft maka amplitude hasil fft akan diolah lagi dan di sekalakan.
10. Mengoreksi Komponen DC & Nyquist
Fungsi if else disini digunakan untuk mengoreksi apakah nfft termasuk titik nyquist atau bukan senga nanti titiik tersebut kan dipilih otomatis oleh nyquist.
11. Mengubah Spectrum Amplitude ke dB
Spektogram dapat didefinisikan sebagai plot *intensitas* (biasanya pada skala log, seperti dB) dari besaran *Short-Time Fourier Transform (STFT)*. Sehingga harus memasukkan rumus perhitungan mencari nilai dala dB agar mendapatkan nilai dB.
12. Menampilkan Gambar Kedua
Perbandingan grafik antara power frekuensi dengan waktu antara bearing normal dan rusak.
13. Menampilkan Gambar Terakhir
Menambilkan gambar Spectrogram antara bearing normal dan rusak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

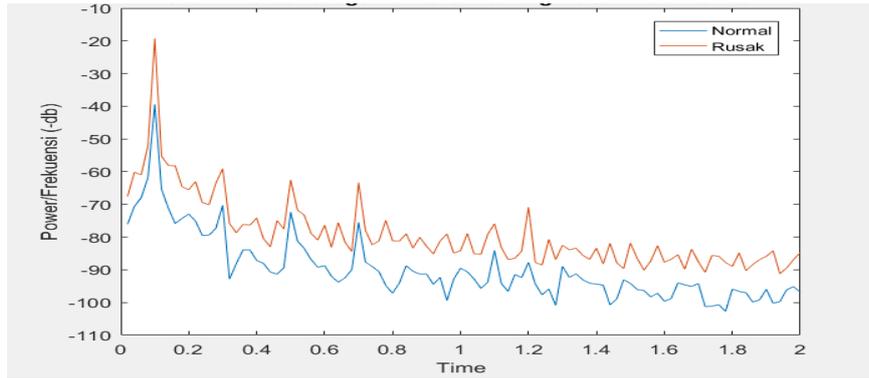
Pada bab ini dijelaskan hasil pemberian algoritma *short time fourier transform* pada data *bearing* yang normal dan rusak simulasi. Simulasi dilakukan pada aplikasi matlab 2016a dengan adanya beberapa perubahan beban antara lain tanpa beban, beban seperempat, beban setengah, beban tigaperempat, dan beban penuh.

3.1 Hasil Grafik Kondisi Motor Beban 0%



Gambar 5. Grafik Perbandingan Amplitudo Dengan Frekuensi Antara Bearing Rusak dan Normal

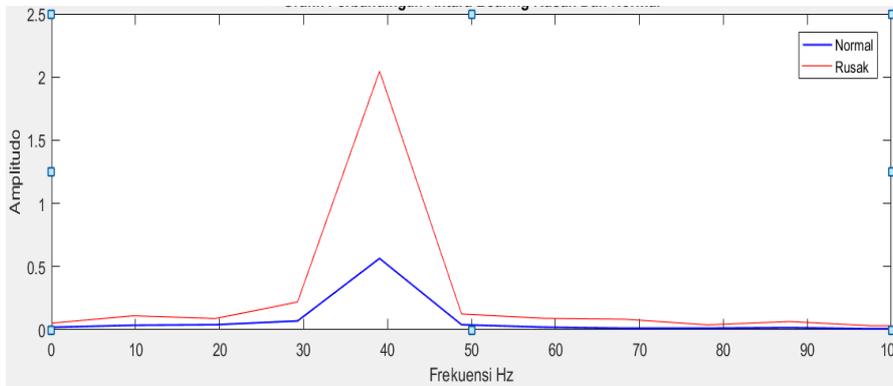
Gambar 5 menunjukkan spektrum STFT saat pemberian beban nol atau tanpa beban, dimana ketika bearing rusak ada lonjakan amplitude secara signifikan hingga melewati amplitude bearing normal yang saat di zoom akan terlihat lonjakan amplitude pada beban puncak bearing rusak bernilai 2,25 mm/s dan beban puncak bearing normal 0,22 mm/s bernilai terjadi antara frekuensi di titik 29 hingga 49 Hz.



Gambar 6. Grafik Perbandingan dB Dengan Waktu Antara Bearing Rusak dan Normal

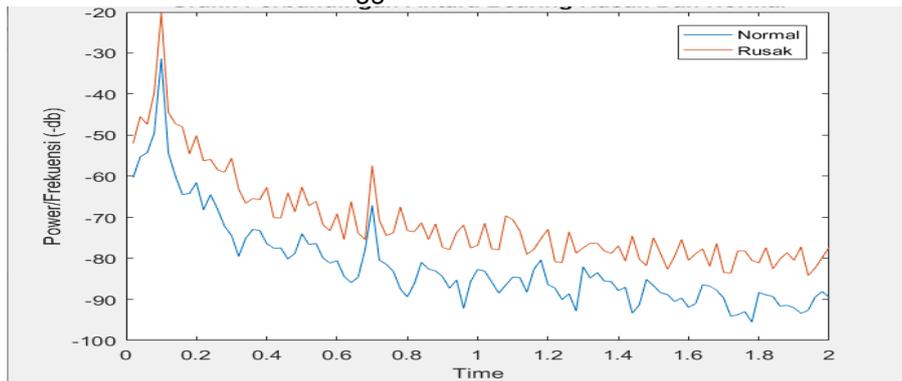
Gambar 6 menunjukkan spektrum STFT yang dimana juga mengalami perubahan yang signifikan seperti gambar 5, bisa dilihat untuk power frekuensinya mengalami fluktuasi di setiap waktu sedangkan saat di zoom menunjukkan nilai dB nya mencapai puncak di waktu 0,09 hingga 0,11 second.

3.2 Hasil Grafik Kondisi Motor Beban 25%



Gambar 7. Grafik Perbandingan Amplitudo Dengan Frekuensi Antara Bearing Rusak dan Normal

Gambar 7 menunjukkan spektrum STFT saat pemberian beban seperempat, dimana ketika bearing rusak ada lonjakan amplitude secara signifikan hingga melewati aplitude bearing normal yang saat di zoom akan terlihat lonjakan amplitude pada beban puncak bearing rusak bernilai 2,05 mm/s dan beban puncak bearing normal 0,56 mm/s bernilai terjadi antara frekuensi di titik 29 hingga 49 Hz.



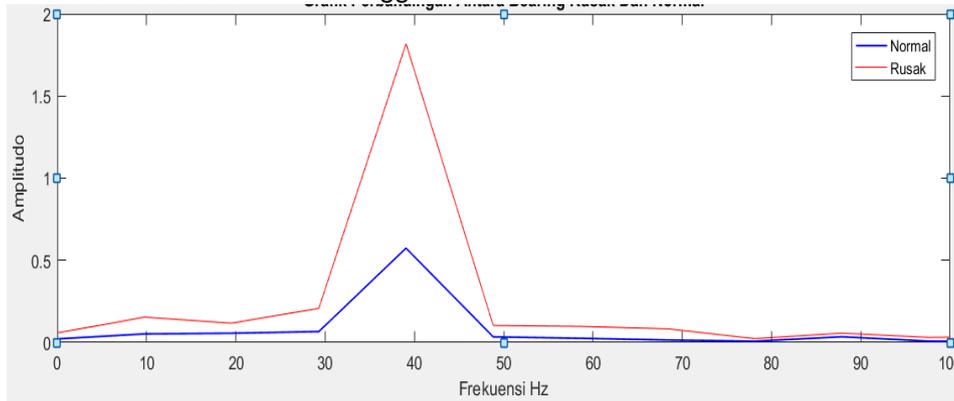
Gambar 8. Grafik Perbandingan dB Dengan Waktu Antara Bearing Rusak dan Normal

Gambar 8 menunjukkan spektrum STFT yang dimana juga mengalami perubahan yang signifikan seperti gambar 7, bisa dilihat untuk power frekuensinya mengalami fluktuasi di setiap waktu sedangkan saat di zoom menunjukkan nilai dB nya mencapai puncak di waktu 0,07 hingga 0,12 second.

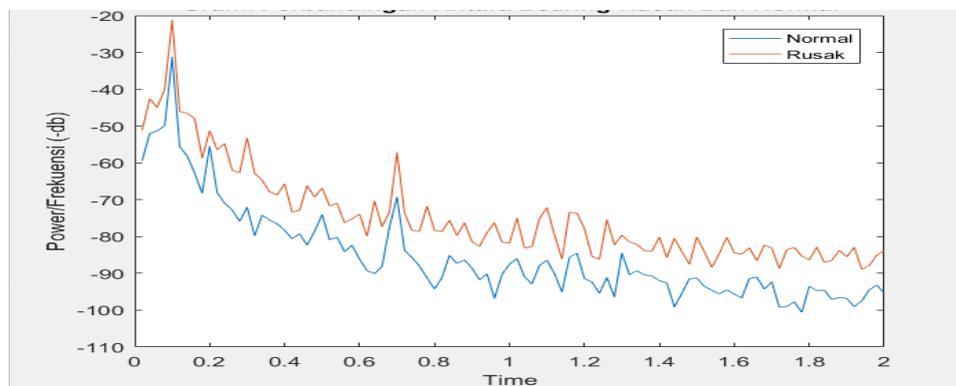
3.3 Hasil Grafik Kondisi Motor Beban 50%

Gambar 9 menunjukkan spektrum STFT saat pemberian beban setengah, dimana ketika bearing rusak ada lonjakan amplitude secara signifikan hingga melewati amplitude bearing normal yang saat di zoom akan terlihat

lonjakan amplitudo pada beban puncak bearing rusak bernilai 1,82 mm/s dan beban puncak bearing normal 0,57 mm/s bernilai terjadi antara frekuensi di titik 29 hingga 49 Hz.



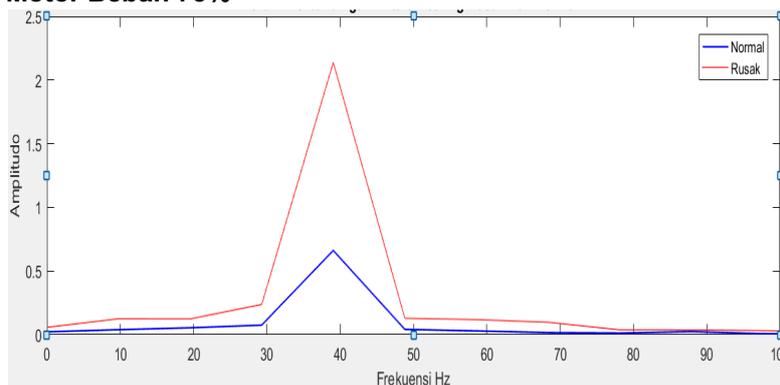
Gambar 9. Grafik Perbandingan Amplitudo Dengan Frekuensi Antara Bearing Rusak dan Normal



Gambar 10. Grafik Perbandingan dB Dengan Waktu Antara Bearing Rusak dan Normal

Gambar 10 menunjukkan spektrum STFT yang dimana juga mengalami perubahan yang signifikan seperti gambar 9, bisa dilihat untuk power frekuensinya mengalami fluktuasi di setiap waktu sedangkan saat di zoom menunjukkan nilai dB nya mencapai puncak di waktu 0,03 hingga 0,11 second.

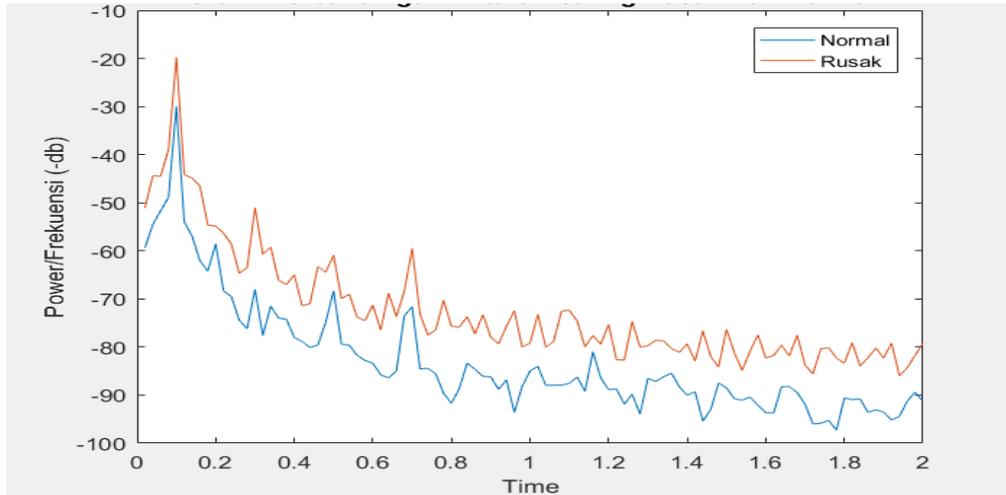
3.4 Hasil Grafik Kondisi Motor Beban 75%



Gambar 11. Grafik Perbandingan Amplitudo Dengan Frekuensi Antara Bearing Rusak dan Normal

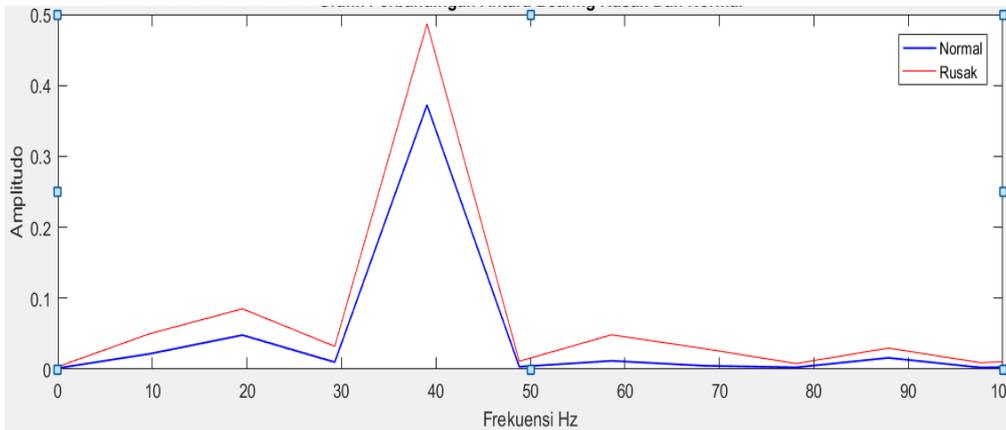
Gambar 11 menunjukkan spektrum STFT saat pemberian beban tigaperempat, dimana ketika bearing rusak ada lonjakan amplitudo secara signifikan hingga melewati amplitudo bearing normal yang saat di zoom akan terlihat lonjakan amplitudo pada beban puncak bearing rusak bernilai 2,14 mm/s dan beban puncak bearing normal 0,66 mm/s bernilai terjadi antara frekuensi di titik 29 hingga 49 Hz.

Gambar 12 menunjukkan spektrum STFT yang dimana juga mengalami perubahan yang signifikan seperti gambar 11, bisa dilihat untuk power frekuensinya mengalami fluktuasi di setiap waktu sedangkan saat di zoom menunjukkan nilai dB nya mencapai puncak di waktu sebelum 0,039 hingga 0,15 second.



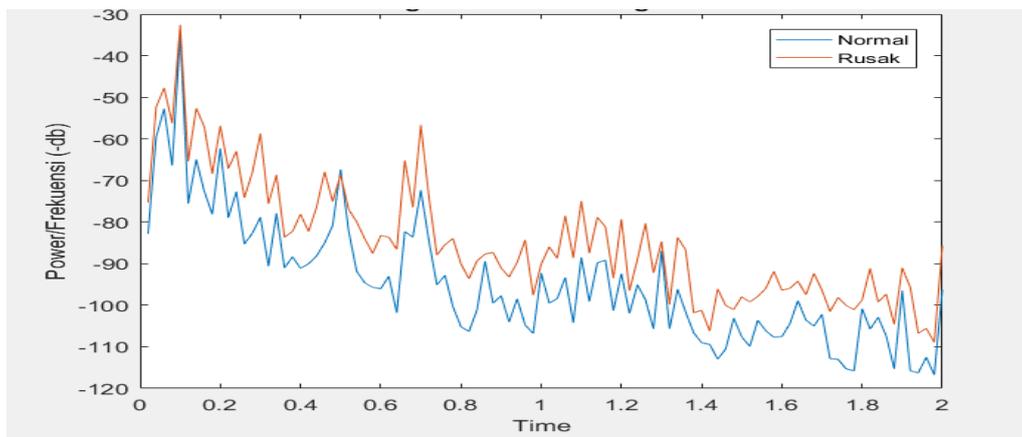
Gambar 12. Grafik Perbandingan dB Dengan Waktu Antara Bearing Rusak dan Normal

3.5 Hasil Grafik Kondisi Motor Beban 100%



Gambar 13. Grafik Perbandingan Amplitudo Dengan Frekuensi Antara Bearing Rusak dan Normal

Gambar 13 menunjukkan spektrum STFT saat pemberian beban penuh, dimana ketika bearing rusak ada lonjakan amplitude secara signifikan hingga melewati amplitude bearing normal yang saat di zoom akan terlihat lonjakan amplitude pada beban puncak bearing rusak bernilai 0,49 mm/s dan beban puncak bearing normal 0,37 mm/s bernilai terjadi antara frekuensi di titik 29 hingga 49 Hz.



Gambar 14. Grafik Perbandingan dB Dengan Waktu Antara Bearing Rusak dan Normal

Gambar 14 menunjukkan spektrum STFT yang dimana juga mengalami perubahan yang signifikan seperti gambar 13, bisa dilihat untuk power frekuensinya mengalami fluktuasi di setiap waktu sedangkan saat di zoom menunjukkan nilai dB nya mencapai puncak di waktu sebelum 0,03 hingga 0,07 second.

3.6 Tabel Perbedaan Antara Bearing Normal dan Rusak

Tabel 2. Hasil Analisis Perbandingan Gelombang

No	Kondisi	Bearing Normal	Bearing Rusak
1	Starting	Saat starting terjadi lonjakan amplitudo bearing tapi tingginya lonjakan tetap lebih rendah dari bearing rusak.	Saat starting terjadi lonjakan amplitudo bearing dan tinggi lonjakan amplitudanya melebihi amplitudo bearing normal.
2	Steady State	Ripple amplitudo lebih cepat mencapai keadaan steady state.	Ripple amplitudo nya lebih lama untuk mencapai keadaan steady state daripada bearing normal.
3	Ukuran Ripple	Lebar ripple sinyal amplitudo lebih sempit dari pada lebar ripple bearing rusak.	Ukuran ripple sinyal amplitudo selalu lebih lebar dari pada lebar bearing normal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul identifikasi kerusakan *outer race bearing* motor pada *hoist crane* menggunakan algoritma *short time fourier transform (STFT)* dapat ditarik kesimpulan bahwa Hasil pengujian membuktikan bahwa algoritma *short time fourier transform (STFT)* mampu mendeteksi perbedaan kondisi bearing normal maupun rusak pada bagian *outer race bearing* yang terdapat di motor induksi. Dari hasil grafik perbandingan amplitudo dengan frekuensi antara *bearing* normal dan rusak baik saat beban 0, beban 25, beban 50, beban 75, hingga beban 100 ada lonjakan amplitudo yang rusak melebihi amplitudo normal. Pada amplitudo *bearing* normal memiliki beban puncak dari *range* amplitudo 0,22 mm/s sampai 0,37 mm/s pada *range* frekuensi 29 Hz sampai 49 Hz. Sedangkan pada amplitudo *bearing* rusak memiliki beban puncak dari *range* amplitudo 0,49 mm/s sampai 2,25 mm/s pada *range* frekuensi 29 Hz sampai 49 Hz. Untuk hasil grafik perbandingan power/frekuensi dengan waktu antara *bearing* normal dan rusak baik saat beban 0, beban 25, beban 50, beban 75, hingga beban 100 ada lonjakan power/frekuensi yang rusak melebihi power/frekuensi normal. Pada power/frekuensi *bearing* normal memiliki beban puncak dari *range* power/frekuensi -34,95 db sampai -32,18 db pada *range time* 0 second sampai 0,16 second. Sedangkan pada power/frekuensi bearing rusak memiliki beban puncak dari *range* power/frekuensi -32,62 db sampai -21,16 db pada *range time* 0 second sampai 0,16 second. Setelah pemberian algoritma *short time fourier transform (STFT)* dapat dilihat dari grafik pada saat : *Starting* terjadi lonjakan amplitudo yang sangat tinggi pada *bearing* rusak dari pada amplitudo *bearing* normal, Lebar *ripple* sinyal amplitudo pada *bearing* rusak juga lebih lebar dari pada *bearing* normal. Dan *ripple* amplitudo pada bearing rusak juga lebih lama mencapai keadaan *steady state* dari pada *bearing* normal. Dikarenakan fungsi *bearing* yang cukup *vital* yaitu untuk menjaga kinerja mesin tetap dalam kondisi baik, maka kerusakan pada *bearing* dapat menyebabkan jalannya produksi terganggu sehingga mengakibatkan kerugian yang tidak sedikit, terutama jika kerusakan yang tiba-tiba muncul secara mendadak (*breakdown*). Untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan upaya-upaya dibawah ini yaitu: Memberikan pelumasan yang cocok sesuai kebutuhan *bearing*, Melakukan penggantian *bearing* sesuai umur waktu kerja yang telah ditentukan, Mengganti *bearing* yang sesuai dengan klasifikasi kerja mesin, Melakukan pemasangan *bearing* dengan hati-hati sesuai standar yang telah ditentukan, dan lain sebagainya.

Daftar Pustaka

- [1] P. S. Prabowo and S. A. Christianto, "Operasi Motor Induksi Tiga Fasa Pada Sistem Satu Fasa," vol. 12, no. 2, pp. 124–129, 2017.
- [2] J. M. Listrik, P. M. Listrik, P. E. Energi, D. P. Opsi, and L. Kerja, "Pedoman efisiensi energi untuk Industri di Asia: Motor listrik 1.," *energy Effic. asia.org @UNEP* 1, pp. 1–26, 2004.
- [3] H. S. Kuswara, "Menurunnya daya angkat," 2020.
- [4] A. Da Silva, "Induction motor fault diagnostic and monitoring methods," no. May, pp. 1–159, 2006, [Online]. Available: [http://www.eng.mu.edu/demerdashn/Bios/Aderiano da Silva/MS Thesis \(Aderiano da Silva\).pdf](http://www.eng.mu.edu/demerdashn/Bios/Aderiano da Silva/MS Thesis (Aderiano da Silva).pdf).
- [5] S. Partha Sarathee Bhowmik1, "Fault Diagnostic and Monitoring Methods of Induction Motor: a Review," *Int. J. Appl. Control. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 01–18, 2018, doi: 10.5281/zenodo.1479976.
- [6] I. Qomah, D. A. Asfani, and D. C. Riawan, "Deteksi Kerusakan Batang Rotor Pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Arus Mula Berbasis Hilbert Transform," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16054.
- [7] R. Z. Haddad, C. A. Lopez, J. Pons-Ilinares, J. Antonino-daviu, E. G. Strangas, and U. P. De Valencia, "Outer Race Bearing Fault Detection in Induction Machines Using Stator Current Signals."
- [8] M. Abduh, I. D.P.K, and B. Y. Dewantara, "Deteksi Kerusakan Outer Race Bearing pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Arus Stator," *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2019.

- [9] A. Ghods and H. Lee, "A Frequency-Based Approach to Detect Bearing Faults in Induction Motors Using Discrete Wavelet Transform," pp. 121–125, 2014.
- [10] Y. N. Jeng and Y. C. Cheng, "Short time fourier transform for time series data," *Hangkong Taikong ji Minhang Xuekan/Journal Aeronaut. Astronaut. Aviat.*, vol. 39 A, no. 2, pp. 117–128, 2007, doi: 10.6125/JoAAA.200706.
- [11] B. R. O. Baptista, M. B. Abadi, A. M. S. Mendes, and S. M. A. Cruz, "The performance of a three-phase induction motor fed by a three-level NPC converter with fault tolerant control strategies," *Proc. - 2013 9th IEEE Int. Symp. Diagnostics Electr. Mach. Power Electron. Drives, SDEMPED 2013*, no. May 2016, pp. 497–504, 2013, doi: 10.1109/DEMPED.2013.6645761.