ANALISIS SINYAL GETARAN INNER RACE BEARING UNTUK DETEKSI KERUSAKAN MENGGUNAKAN METODE FAST FOURIER TRANSFORM (FFT)

Firda Mego[1)], Jonny Latuny[2)], Cendy S.E Tupamahu[3)]

[1)]S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: firdamego95@gmail.com
[2)]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pattimura
Email: jonny.latuny@staff.unpatti.ac.id
[3)]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pattimura
Email: tupamahucendy@gmail.com

Abstrak Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi terjadinya kerusakan *inner race bearing* berdasarkan karakteristik sinyal getaran yang dianalisis dalam domain frekuensi. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan data dari NSF I/UCR *Center on Intelligent Maintenance Systems* (IMS) dengan *bearing test rig* pada kecepatan 2000 RPM dan beban radial 2,7 ton. Data getaran direkam menggunakan sensor *accelerometer* PCB 353B33 dengan sampling rate 20 kHz setiap 10 menit selama 7 hari menghasilkan 984 file data, yang kemudian dianalisis menggunakan dekomposisi *wavelet Daubechies* 18 (db18) pada 9 level dan ditransformasi dengan FFT melalui *software* GNU Octave. Hasil penelitian menunjukkan bahwa level 3 dekomposisi merupakan indikator paling sensitif dengan kerusakan pertama terdeteksi pada file ke-621 dengan frekuensi karakteristik 1.889 Hz yang melampaui *threshold* kritis 1.500 Hz, kemudian berkembang progresif dari kondisi normal (file 1-400) hingga kegagalan kritis (file 800-984) dengan magnitudo mencapai 400-500. Kesimpulan menyatakan bahwa metode FFT efektif untuk deteksi dini kerusakan *inner race bearing* dengan level 3 memberikan resolusi optimal pada rentang frekuensi 0-2.000 Hz dengan frekuensi karakteristik kerusakan 1.889 Hz dan magnitudo maksimum 400-500 yang dapat diimplementasikan dalam sistem monitoring *real-time* untuk *preventive maintenance* guna meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi biaya operasional

Kata kunci: *Inner Race Bearing*, *Fast Fourier Transform*, Deteksi Kerusakan, Analisis Getaran, *Preventive Maintenance*.

1. PENDAHULUAN

Di era industri yang terus berkembang, bearing menjadi salah satu elemen mesin yang memegang peranan vital dalam meminimalkan gesekan di antara komponen yang saling bergerak. Berbagai faktor seperti beban berlebih, suhu tinggi, dan kurangnya pelumasan yang tepat dapat mengakibatkan kerusakan pada bearing, yang selanjutnya berdampak pada munculnya getaran tidak normal, kenaikan suhu operasi, serta terhentinya proses produksi yang berujung pada kerugian produktivitas dan pembengkakan biaya operasional (Utomo et al., 2019). Di antara bagian-bagian bearing, inner race — komponen yang bergerak searah dengan rotasi poros — merupakan bagian yang paling rentan mengalami kerusakan. Jika kondisi ini tidak diidentifikasi sejak awal, potensi kegagalan menyeluruh pada mesin produksi menjadi ancaman yang tidak dapat diabaikan (Assembly, 2023).

Pada era Industri 4.0, pendekatan pemeliharaan konvensional yang mengandalkan inspeksi manual dinilai tidak lagi efektif mengingat semakin kompleksnya sistem mesin yang terintegrasi (Winter, 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan strategi preventive maintenance

berbasis teknologi yang mampu mendeteksi kerusakan secara dini dan akurat. Analisis sinyal getaran dalam domain frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengidentifikasi pola frekuensi karakteristik yang mengindikasikan adanya kerusakan pada komponen bearing (DPK et al., 2019). Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas metode Fast Fourier Transform (FFT) dalam mendeteksi berbagai jenis kerusakan bearing (Adikasih, 2022). melaporkan tingkat keberhasilan deteksi kerusakan ball bearing melalui analisis sinyal arus stator mencapai 65–95%. (Abduh, 2019) berhasil mendeteksi kerusakan outer race bearing dengan tingkat keberhasilan 41–60%. Namun, penelitian yang secara khusus mengkaji deteksi kerusakan inner race bearing melalui kombinasi dekomposisi wavelet dan Fast Fourier Transform (FFT) menggunakan perangkat lunak open-source seperti GNU Octave masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kerusakan inner race bearing berdasarkan karakteristik sinyal getaran yang dianalisis dalam domain frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi implementasi sistem monitoring kondisi bearing secara real-time guna meningkatkan keandalan mesin dan efisiensi operasional industri.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **"Analisis Sinyal Getaran Inner Race Bearing Untuk Deteksi Kerusakan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT)"** Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan optimasi komposisi dan variasi terhadap sifat mekanik yang dihasilkan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental bersifat deskriptif, bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi *bearing* dalam kondisi normal dan rusak terhadap sinyal getaran yang dihasilkan. Data sinyal getaran yang digunakan disediakan oleh NSF I/UCR *Center on Intelligent Maintenance Systems* (IMS) dengan dukungan dari Rexnord Corp. di Milwaukee, WI, Amerika Serikat. Penelitian dilaksanakan di Lab Material Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon.

A. Variabel penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sampling rate (sampel per detik), variabel terikat adalah magnitudo maksimum sinyal getaran, dan variabel kontrol adalah kecepatan putaran poros yang dijaga konstan pada 2000 RPM.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

a. Sensor accelerometer untuk mengukur getaran mekanis pada bearing
b. Bearing test rig yang dioperasikan pada kecepatan 2000 RPM dengan beban radial 2,7 ton
c. Data logger National Instrument tipe NI DAQ 6062E
d. Laptop untuk pemrosesan data
e. Perangkat lunak GNU Octave 9.2.0 untuk analisis sinyal Fast Fourier Transform (FFT).

C. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data melibatkan pemasangan dua sensor *accelerometer* (arah X dan Y) pada setiap *bearing* untuk mengukur getaran pada *bearing* yang terhubung ke sistem *Data Acquisition* (DAQ) dan menghasilkan total 8 kolom data untuk 4 *bearing*. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi bearing, yaitu normal, kerusakan ringan dan berat, dengan

mempertahankan parameter seperti kecepatan putaran (RPM) dan beban secara konstan. Data set yang digunakan adalah data set no. 2 dengan durasi pengambilan 12 Februari 2004 hingga 19 Februari 2004. *Sampling rate* sebesar 20 kHz, interval perekaman setiap 10 menit, menghasilkan 984 file data dengan 20.480 titik data per file dalam format ASCII.

Proses pengambilan data dimulai dari sensor *accelerometer* yang mendeteksi getaran mekanis dari *bearing*, kemudian sinyal analog yang dihasilkan diteruskan ke *Low Pass Filter* (LPF) untuk menyaring komponen frekuensi tinggi yang tidak diinginkan. Setelah itu, sinyal masuk ke tahap *Digital Signal Processing* (DSP) untuk pengolahan sinyal secara digital. Data yang telah diproses dikirim melalui USB ke *data logger* dan selanjutnya ke komputer. Di komputer, sinyal dianalisis menggunakan *software* yaitu GNU Octave.

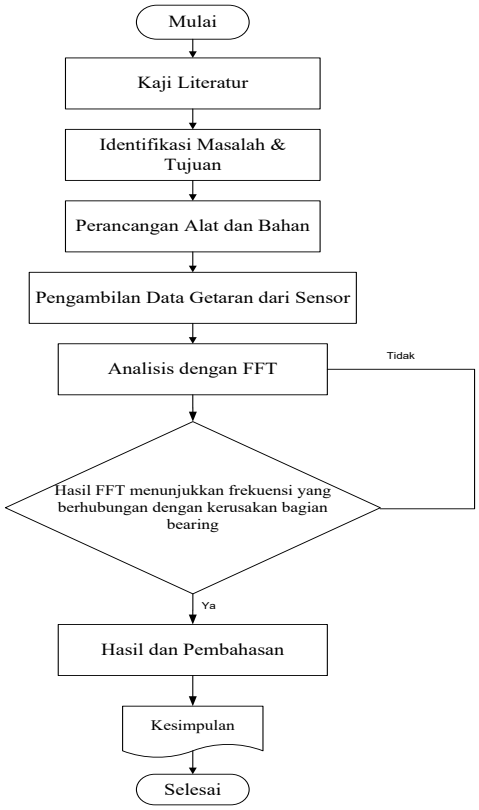
Nama file yang digunakan untuk menyimpan data menunjukkan waktu pengumpulan data dalam hal ini menggunakan informasi tanggal, jam, menit dan detik. Pengambilan data selama 1 detik dilakukan setiap 20 menit untuk set data 1 dan setiap 10 menit untuk set data 2 dan 3. Ukuran sampel data yang diambil selama 1 detik adalah sebanyak 20480 titik data atau pada frekuensi sampling sebesar 20KHz.

D. Analisis Data

Tahapan analisis data yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

a. Transfer data yang direkam oleh Data Logger ke laptop untuk analisis lebih lanjut.
b. Pengolahan data dengan metode Fast Fourier Transform (FFT) menggunakan software GNU Octave di laptop.
c. Bandingkan hasil analisis frekuensi dari bearing normal dan bearing yang mengalami kerusakan pada bagian inner race.
d. Identifikasi frekuensi karakteristik yang menunjukkan adanya kerusakan pada bagian inner race.

E. Alur Penelitian

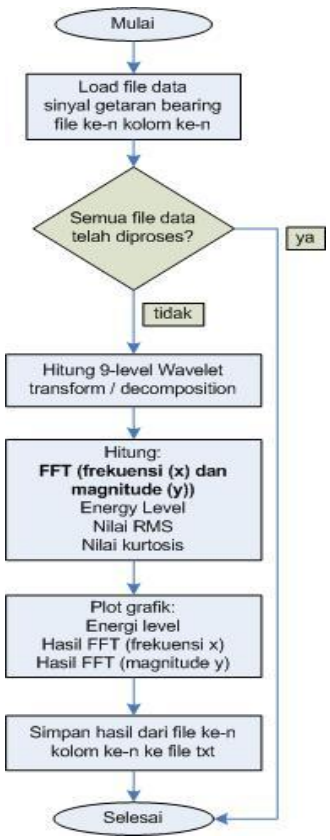


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diperoleh dari pengolahan sinyal getaran *inner race bearing* menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Analisis ini dilakukan terhadap 984 file data yang diambil selama periode pengujian mulai dari 12 Februari 2004 hingga 19 Februari 2004 dengan pengambilan data getaran bearing dilakukan setiap 10 menit selama 7 hari pengujian difokuskan pada perubahan komponen frekuensi (FFT X) dan magnitudo (FFT Y) sebagai indikator kondisi bearing.

Pengolahan data sinyal getasran yang dilakukan guna mendapatkan hasil *Fast Fourier Transform* (FFT) dari data sinyal getaran dilakukan dengan menggunakan Langkah-langkah yang ditunjukkan pada Gambar 2.

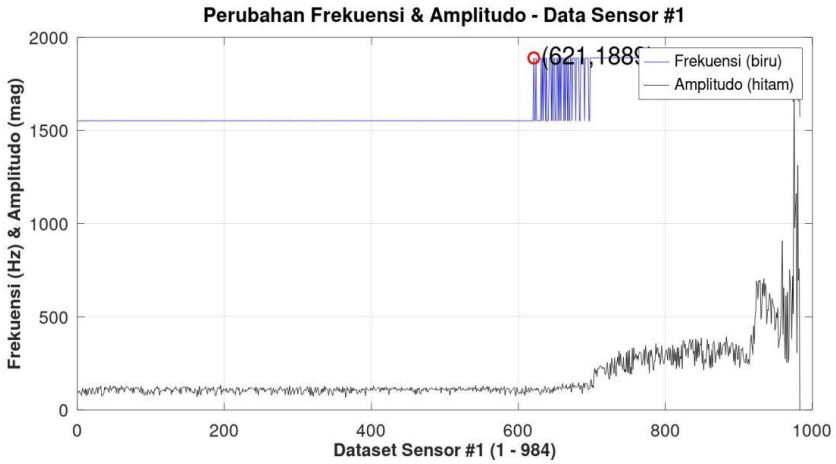


Gambar 2. *Flowchart* pengolahan data dari sinyal getaran

Setiap tahapan dirancang untuk mengekstraksi informasi diagnostik dari sinyal getaran mentah, dengan tujuan utama untuk mendeteksi potensi kerusakan pada elemen *bearing*. Tahapannya dimulai dengan memuat data sinyal getaran yang tersimpan pada computer dalam bentuk file text (.txt) kemudian di load satu per satu oleh program/*script Octave* setelah data dimuat sistem akan memeriksa apakah seluruh file telah dianalisis, untuk setiap file ke-n yang di load dilakukan proses dekomposisi atau transformasi *Wavelet* sebanyak 9 level untuk 984 data. Setelah transformasi *Wavelet,* dilakukan proses perhitungan parameter seperti *Fast Fourier Transform* (FFT), energi level, nilai *Root Mean Square* (RMS) dan nilai kurtosis untuk setiap level transformasi *Wavelet* yang diperoleh. Kemudian, seluruh hasil perhitungan divisualisasikan dalam bentuk grafik yang mencakup energi level dan spektrum *Fast Fourier Transform* (FFT) terhadap frekuensi dan magnitude. Pada proses akhir, data hasil proses disimpan dalam bentuk format file text (.txt) di komputer untuk digunakan selanjutnya pada tahap analisis data. Penyimpanan setiap hasil analisis dari file ke-n dan kolom ke-n disimpan dengan terstruktur sehingga dapat digunakan kembali sebagai dokumentasi hasil pengolahan data.

Data sinyal getaran yang digunakan pada penelitian ini mencakup kondisi bearing dari normal hingga mengalami kerusakan. Data telah melalui proses dekomposisi menggunakan basis *Wavelet Daubechies* 18 (db18), dan dianalisis menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengidentifikasi karakteristik frekuensi dan magnitudo yang relevan terhadap kondisi inner race bearing.

Berdasarkan hasil analisis dekomposisi *wavelet* yang dilakukan pada 9 level, level 3 dipilih sebagai titik fokus penelitian karena menunjukkan kepekaan paling tinggi dalam mengidentifikasi kerusakan pada *inner race bearing*. Tingkat ini mencakup rentang frekuensi dari 0 hingga 2.000 Hz, yang sesuai dengan frekuensi karakteristik kerusakan bearing, serta menyediakan resolusi optimal untuk mendeteksi kerusakan dini.



Gambar 3. Perubahan Frekuensi (FFT X) dan Amplitudo (FFT Y)

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis gabungan komponen frekuensi (ditandai dengan garis biru) dan amplitudo (ditandai dengan garis hitam) pada level 3 dekomposisi *wavelet* berdasarkan 984 dataset sensor. Grafik ini memberikan visualisasi tentang perkembangan kondisi *bearing*, dari kondisi normal hingga kerusakan parah, termasuk koordinat spesifik pada titik-titik kritis perubahan kondisi *bearing*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
618	617	5765	74,244	4477	171,261	1552	121,859	1010	422,352	475	71,021	237	42,693	95	23,163	52	88,628	30	89,292
619	618	5750	95,891	4492	179,353	1552	116,711	1010	380,557	476	55,365	238	36,517	95	20,881	52	107,757	31	87,755
620	619	5752	90,426	4490	173,368	1552	102,981	1010	344,994	475	44,653	238	92,721	95	21,352	52	117,035	31	93,612
621	620	5766	89,272	4476	182,900	1552	109,817	1010	362,089	505	41,618	238	80,985	95	24,491	52	111,580	31	93,205
622	621	5750	88,094	4492	165,308	1889	108,072	1010	397,074	476	42,200	238	42,827	95	21,257	52	100,557	31	83,019
623	622	5765	86,978	4477	187,690	1552	113,322	1010	393,537	476	51,002	238	93,026	95	17,975	52	108,111	31	82,090
624	623	5751	90,365	4476	167,906	1552	112,871	1010	389,437	475	69,046	237	36,262	95	24,255	52	100,277	31	65,358
625	624	5530	82,201	4476	164,923	1888	103,988	1010	341,035	475	44,266	237	31,044	95	17,806	52	107,305	31	71,169
626	625	5772	94,986	4470	190,336	1552	119,397	1010	401,914	475	56,446	238	95,656	96	18,050	52	95,641	31	73,338
627	626	5765	92,699	4477	177,470	1552	107,703	1010	383,273	474	35,036	238	46,892	95	20,365	52	102,619	31	71,545
628	627	5528	77,191	4478	166,416	1552	114,356	1010	360,873	473	38,491	238	49,974	88	19,628	52	89,756	31	67,640
629	628	5528	97,194	4478	184,205	1552	101,744	1010	327,329	476	48,393	238	45,428	88	18,501	45	92,230	31	60,464
630	629	5749	88,857	4493	177,230	1552	92,292	1010	307,172	476	31,356	238	78,279	88	23,237	52	93,986	31	74,586
631	630	5763	114,375	4479	209,974	1551	81,145	1011	248,096	475	42,166	238	79,429	88	20,962	52	87,391	31	76,922
632	631	5749	79,220	4493	161,932	1889	86,733	1010	300,439	475	42,977	238	30,723	88	16,659	45	88,545	31	69,078
633	632	5528	78,198	4478	183,271	1552	110,533	1010	353,323	476	71,147	238	95,183	88	17,371	52	108,652	37	76,486
634	633	5748	116,556	4494	231,757	1890	104,090	1011	274,523	475	51,637	238	100,882	88	22,754	52	91,640	31	69,889
635	634	5763	102,231	4479	190,498	1552	94,762	1010	273,954	475	43,680	238	35,845	88	19,956	52	109,341	31	73,951
636	635	5749	93,728	4493	174,562	1889	109,926	1010	322,948	476	52,960	237	32,636	133	22,103	52	95,482	31	74,116

Tabel 1. Data hasil komponen FFT x (frekuensi) dan FFT y (magnitude)

Tabel 1 menyajikan data numerik hasil analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) berupa nilai frekuensi (FFT x) dan magnitudo (FFT y) dari sinyal getaran *bearing*. Tabel 1 digunakan sebagai bukti kuantitatif terhadap hasil visual yang ditampilkan pada Gambar 3, khususnya pada level 621 yang ditandai dengan warna kuning. Kesesuaian antara data numerik pada tabel dan pola spektral pada grafik memperkuat indikasi awal terjadinya kerusakan *inner race bearing* yang terdeteksi melalui analisis domain frekuensi.

Kombinasi peningkatan frekuensi dan lonjakan amplitudo pada level 3 yang terlihat jelas pada Gambar 3, berfungsi sebagai sinyal utama untuk mengidentifikasi kerusakan bearing pada tahap awal. Pola ini memberikan dasar yang kokoh untuk diagnosis kondisi bearing yang akurat dan membantu pengambilan keputusan dalam strategi *preventive maintenance*. Penemuan titik kritis pada dataset 621 yang memiliki amplitudo yang meningkat dan frekuensi mencapai 1.889 Hz, memberikan informasi penting tentang jendela kesempatan untuk melakukan *preventive maintenance* sebelum kerusakan menjadi lebih parah dan menyebabkan kegagalan total bearing.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis sinyal getaran *bearing* menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) yang dikombinasikan dengan dekomposisi *wavelet* pada 9 level, dapat disimpulkan:

Kerusakan awal *inner race* pada *bearing* mulai terdeteksi secara pada dataset 621 dimana komponen frekuensi *Fast Fourier Transform* (FFT) meningkat dari 1.500 Hz ke 1.889 Hz terdeteksi pada tanggal 16 Februari 2004 di jam 17.59.39. *Fast Fourier Transform* (FFT X) dan *Fast Fourier Transform* (FFT Y) merupakan indikator paling sensitif terhadap kerusakan awal dari bearing. Hubungan antara frekuensi dan magnitude pada level ini menunjukkan bahwa kerusakan bersifat struktural dan berkembang secara progresif. Kerusakan awal pada dataset ke 621 berelasi dengan waktu pengambilan yaitu pada tanggal 16 Februari 2004 di jam 17.59.39 yang artinya jika di hitung dari awal pengujian hingga terjadinya kerusakan awal adalah 7 hari pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

Adikasih, D. P. (2022). Efficiency In Fault Detection Ball Bearing Melalui Arus Stator Berbasis Fast Fourier Transform (FFT). *Cyclotron*, *5*(1), 1–6. https://doi.org/10.30651/cl.v5i1.11980

Audio, Nt. (2014). *Fast Fourier Transformation FFT - Basics*. NTi. Audio. https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft

Boimau, O., PK, I. D., Dewantara, B. Y., & Rahmatullah, D. (2020). Penerapan Metode Neural Network Untuk Mengklasifikasi Kerusakan Batang Rotor Motor Induksi Melalui Data Spektrum Arus. *Media Elektrika*, *13*(1), 12. https://doi.org/10.26714/me.v13i1.6350

Darmawan, M. P., & Soedjarwanto, N. S. (2023). Analisis Identifikasi Kecacatan Bearing Motor Induksi Berdasarkan Arus Stator Dan Torsi Pada Rpm Berbasis Fast Fourier Transform. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *11*(3), 303–310. https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3071

Dinwasiba, S. I., Widodo, A., & Haryanto, I. (2021). Diagnosis Kerusakan Bearing Dengan Analisis Sinyal Getaran Pada Program Matlab. *Jurnal Teknik Mesin*, *9*(1), 15–20. https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/34453

DPK, I., Dewantara, B. Y., & Janudin, A. M. (2019a). Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Menggunakan Motor Current Signature Analysis Berbasis Fast Fourier Transform. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC*, *6*(1), 24–25. https://doi.org/10.21107/triac.v6i1.5145

Endriatno, N.-. (2021). Analisis Getaran Akibat Massa Yang Tidak Seimbang Pada Motor Yang Berputar. *Dinamika : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *12*(2), 58. https://doi.org/10.33772/djitm.v12i2.18225

Exit, S., & Assembly, C. (2023). *Case Study : Inner Race Bearing Defect Case Study : Inner Race Bearing Defect*. 1–4.

Kamiel, B. P., & Fadilah, M. R. (2023). Application of Short Time Fourier Transform (STFT) For Diagnosing Rolling Bearing Faults. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, *7*(2), 118–127. https://doi.org/10.18196/jmpm.v7i2.19813

Muhammad Abduh. (2019). Deteksi Kerusakan Outer Race Bearing pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Arus Stator. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, *1*(2), 1–6.

Pamungkas, E. I. (2021). *Pengaruh Pembebanan Tidak Seimbang Dan Kerusakan Bearing Pada*

Getaran Bearing Berbasis Fourier Transform.

Romdhoni, Mardiansyah, & Kusnadi, H. (2023). Bearing Fault Detection Menggunakan Metode Wavelet Berbasis Labview. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, *22*(1), 49–58. https://doi.org/10.31358/techne.v22i1.340

Rosyid, M. H. (2023). Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Generator Sinkron Melalui Analisa Arus Stator Dengan Fast Fourier Transform. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, *14*(1), 1–10. https://doi.org/10.24176/simet.v14i1.9138

Ruiz De La Hermosa Gonzalez-Carrato, R., García Márquez, F. P., Dimlaye, V., & Ruiz-Hernández, D. (2014). Pattern recognition by wavelet transforms using macro fibre composites transducers. *Mechanical Systems and Signasl sProcessing*, *48*(1–2), 339–350. https://doi.org/10.1016/J.YMSSP.2014.04.002

Salsabillah, S. F., Diah, I., Karyatanti, P., Belly, D., Dewantara, Y., Hang, U., Surabaya, T., Rachman, J. A., No, H., Kota Surabaya, S., & Timur, J. (2023). Short Time Fourier Transform (STFT) Sebagai Feature Extraction Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Motor Induksi Secara Realtime Menggunakan Sinyal Suara. *Jurnal Teknik Elektro*, *06*(02), 20–26.