

Penerapan FFT dan STFT dalam Mendiagnosis Getaran ID Fan Berjenis Sambungan Kopel

Dedik Romahadi¹ dan Iman Maris¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: dedik.romahadi@mercubuana.ac.id

Abstrak-- Masalah yang sering terjadi pada ID Fan merupakan masalah mesin berupa adanya getaran berlebih yang tidak diinginkan dan dapat merusak komponen mesin tersebut. Tujuan penelitian ini melakukan analisis getaran untuk mengetahui frekuensi dominan pada induced draft fan dengan mengolah data luaran alat ukur yang kemudian akan disimpulkan apakah masalah getaran yang terjadi sudah sesuai dengan ketentuan berdasarkan standar getaran suatu mesin atau ISO 10816-3. Metode yang akan digunakan untuk analisis adalah metode Fast Fourier Transform (FFT) dan Short Time Fourier Transform (STFT). Metode FFT memiliki kekurangan tidak efisien dalam menggambarkan sinyal non stasioner. Terbatasnya jangkauan dalam bentuk data gelombang yang dapat ditransformasikan sehingga metode STFT diperlukan dengan menggunakan jendela atau windowing signal untuk mengolah sinyal data dari waktu ke waktu. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur transduser tipe accelerometer karena mempunyai daerah frekuensi yang luas sehingga cocok digunakan untuk berbagai kerusakan, berdasarkan standar ISO 18016-3 dengan kondisi operasi putaran poros 1485 RPM, daya 131 kW, dan 4 titik pengukuran. Nilai getaran tertinggi terdapat pada posisi DE Fan dengan arah horizontal sebesar 4,06 mm/s. Kondisi mesin yang diteliti masuk kategori grup 2 yaitu medium sized machine mengacu pada standar ISO 10816-3, didapatkan hasil dengan kriteria warna jingga (C) yang dapat diartikan bahwa pada motor dan fan pada mesin ID Fan dalam kondisi masih diizinkan beroperasi untuk waktu yang terbatas. Hasil analisis spektrum yang didapat pada penelitian diketahui jenis gangguan yang terjadi berupa indikasi kerusakan misalignment pada titik pengukuran DE Fan.

Kata kunci: FFT, STFT, ID Fan, Analisis Getaran

Abstract-- Problems that often occur with ID Fans are engine problems in the form of unwanted excessive vibrations and can damage the engine components. The purpose of this study is to conduct a vibration analysis to determine the dominant frequency in the induced draft fan by processing the output data of the measuring instrument which will then be concluded whether the vibration problem that occurs is in accordance with the provisions based on the vibration standard of a machine or ISO 10816-3. The methods to be used for analysis are the Fast Fourier Transform (FFT) and Short Time Fourier Transform (STFT) methods. The FFT method has the disadvantage of being inefficient in describing non-stationary signals. The limited range in the form of wave data can be transformed so that the STFT method is needed by using a window or windowing signal to process the data signal from time to time. Measurements were carried out using an accelerometer type transducer measuring instrument because it has a wide frequency area so it is suitable for various types of damage, based on the ISO 18016-3 standard with operating conditions of 1485 RPM shaft rotation, 131 kW power, and 4 measurement points. The highest vibration value is in the DE Fan position with a horizontal direction of 4.06 mm/s. The condition of the machine under study is categorized as group 2, namely medium-sized machine referring to the ISO 10816-3 standard, the results were obtained with the criteria for the color orange (C) which means that the motor and fan on the ID Fan machine are still allowed to operate for a limited time. . The results of the spectrum analysis obtained in the study are known to be the type of disturbance that occurs in the form of an indication of misalignment damage at the DE Fan measurement point.

Keywords: FFT, STFT, ID Fan, Vibration Analysis

1. PENDAHULUAN

Induced Draft Fan (IDF) berfungsi untuk mempertahankan pressure pada furnace boiler dan bekerja pada tekanan atmosfer rendah,

karena itu IDF ditujukan sebagai alat untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran pada boiler yang selanjutnya akan dibuang melalui stack. IDF dipasang di dekat cerobong

pembuangan gas hasil pembakaran Batubara dan *electrostatic precipitator* yaitu penangkap abu Batubara jenis *Fly Ash* yang beterbangan sehingga dapat mengurangi polusi udara yang akan dikeluarkan melalui stack. Sebelum gas dan abu sisa pembakaran dibuang, terlebih dahulu dilewatkan pada *electrostatic precipitator* agar bisa mengurangi presentasi polusi udara yang dihasilkan dari sisa pembakaran tersebut [1]–[3].

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Getaran juga dapat disebabkan oleh udara atau getaran mekanis, seperti mesin berputar/alat mekanis lainnya [4]–[6]. Frekuensi getaran secara fisik apabila tidak terkendali dapat menimbulkan kondisi bising pada saat pengoperasian mesin, sedangkan amplitudo getaran tak terkendali tampak melewati getaran mesin yang tak beraturan. Untuk mengurangi akibat merugikan dari dua parameter ini, agar tidak merusak struktur yang bergetar, selain dilakukan analisis, data percobaan, dan tinjauan teori. Analisis dibantu dengan perhitungan secara komputerisasi sebagai pendukung [7], [8].

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jinfeng [9] pada tahun 2016 telah melakukan studi getaran pada IDF di boiler dengan pengambilan data getaran pada titik-titik pengukuran yang terdapat di setiap peralatan (Motor *Outboard Horizontal*, Motor *Outboard Vertikal*, Motor *Outboard Axial*, Motor *Inboard Horizontal*, Motor *Inboard Vertikal*, Motor *Inboard Axial*, *Fan Inboard Horizontal*, *Fan Inboard Vertikal*, *Fan Inboard Axial*). Parameter yang digunakan berdasarkan histori peralatan mengacu pada metode Fast Fourier Transform (FFT). Menurut Mustafa et al [10]–[14], STFT merupakan metode transformasi yang mengembangkan metode Fourier Transform dengan kelebihan pada kemampuan untuk mentransformasi *non-stationary signal*. Adapun ide dibalik metode ini adalah membuat *non-stationary signal* menjadi suatu representasi *stationary signal* dengan memasukkan suatu fungsi *window*. Dalam hal ini, sinyal yang ada dibagi menjadi beberapa segmen di mana segmen yang didapatkan, diasumsikan terdiri dari sinyal *stationary*.

Sebagai komponen penting yang selalu aktif beroperasi, sering kali muncul gangguan ataupun permasalahan timbul pada IDF adalah masalah over getaran. Over getaran merupakan masalah mesin berupa adanya getaran berlebih yang tidak dikehendaki dan dapat merusak komponen mesin tersebut. Oleh sebab itu peneliti tertarik untuk melakukan studi analisis getaran berupa

perhitungan melalui frekuensi pada IDF dengan mengolah data luaran alat ukur yang kemudian akan menyimpulkan apakah masalah getaran yang terjadi sudah sesuai dengan ketentuan ISO atau standar getaran suatu mesin.

Peneliti menggunakan dua metode untuk keperluan analisis, yaitu metode FFT dan STFT. Pada dasarnya penggunaan metode FFT memiliki kekurangan tidak efisien dalam menggambarkan sinyal non stasioner yang disebabkan oleh sinyal getaran dan terbatasnya jangkauan dalam bentuk data gelombang yang dapat ditransformasikan karena dibutuhkan representasi waktu-frekuensi. Pada kondisi analisis getaran IDF di sini metode STFT diterapkan untuk mendukung hasil komputasi FFT dalam menunjukkan frekuensi dominan meskipun pada sinyal getaran memiliki banyak *noise* Sehingga metode STFT diperlukan dengan menggunakan jendela atau *windowing signal* untuk mengolah sinyal data dari waktu ke waktu.

2. METODOLOGI

Metode yang diterapkan untuk analisis penelitian kali ini adalah metode *fast fourier transform* dan *short time fourier transform*.

2.1. Fast Fourier Transform

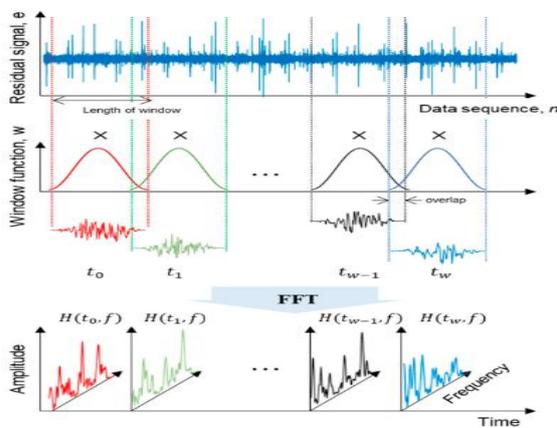
FFT adalah teknik perhitungan operasi matematika yang digunakan untuk mentransformasi sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi [15]. FFT membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. FFT menghitung transformasi fourier diskrit dengan cepat dan efisien. Karena sinyal-sinyal dalam sistem komunikasi bersifat kontinu, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk transformasi fourier. *Fourier Transform* dapat didefinisikan dengan Persamaan (1) [16].

$$F = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [X] \cdot e^{-j2\pi(n-1)k} \quad (1)$$

Di mana N adalah jumlah sampel waktu, X adalah sinyal dalam bentuk domain waktu, n adalah deret sampel waktu dan k adalah hasil pembagian setiap sampel waktu dengan jumlah sampel waktu. Menghitung deret ini secara langsung memerlukan operasi aritmetika sebanyak $O(N^2)$. Sebuah algoritme FFT hanya memerlukan operasi sebanyak $O(N \log N)$ untuk menghitung deret yang sama. Secara umum algoritme tersebut tergantung pada pemfaktoran N.

2.2. Short Time Fourier Transform

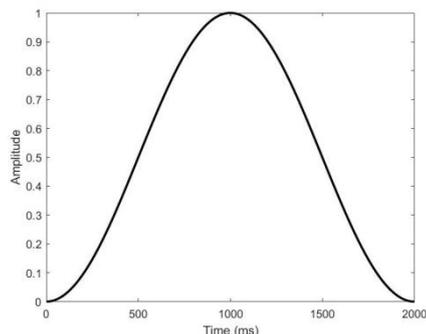
STFT dapat diterapkan pada keduanya sinyal stasioner dan non-stasioner. Sinyal domain waktu dibagi menjadi jendela kecil dengan panjang yang sama menggunakan fungsi *windowing* dan kemudian metode FFT diterapkan, yang menyediakan spektrum waktu-frekuensi [17]. Dalam analisis ini, fungsi *windowing hanning* seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (2) diterapkan untuk memperoleh informasi waktu frekuensi. Bentuk *hanning window* ditunjukkan oleh Gambar 2. Panjang *window* adalah $L=N+1$. Konsep STFT dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep STFT

$$w(n) = 0.5 \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{n}{N} \right) \right), \quad (2)$$

$$0 \leq n \leq N$$



Gambar 2. Hanning Window

Pada kasus waktu diskrit, data yang akan diubah agar dapat dipecah menjadi potongan atau bingkai (yang biasanya saling tumpang tindih, untuk mengurangi artefak pada batas). Setiap potongan ditransformasikan Fourier, dan hasil kompleks ditambahkan ke matriks, yang

mencatat besarnya dan fase untuk setiap titik waktu dan frekuensi. Jumlah kolom dalam matriks STFT diberikan oleh Persamaan (3).

$$k = \left\lfloor \frac{N_x - L}{M - L} \right\rfloor \quad (3)$$

Di mana N_x adalah panjang sinyal asli $x(n)$ dan simbol dalam kurungnya menunjukkan fungsi floor. Jumlah baris dalam matriks sama dengan N_{FT} , jumlah titik Fourier Transform (FT), untuk transformasi pusat dan dua sisi dan $\lfloor N_{FT}/2 \rfloor + 1$ untuk transformasi satu sisi. Matriks STFT diberikan oleh Persamaan (4).

$$X(f) = [X_1(f) X_2(f) \dots X_k(f)] \quad (4)$$

sehingga elemen ke- m dari matriks ini dihasilkan oleh Persamaan (5).

$$X_m(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)g(n - mR)e^{-j2\pi fn} \quad (5)$$

Di mana, $g(n)$ adalah fungsi jendela dengan panjang M . $X_m(f)$ adalah FT dari data jendela yang berpusat pada waktu mR . R adalah ukuran hop antara FT yang berurutan. Ukuran hop adalah perbedaan antara panjang jendela dan panjang tumpang tindih L . Biasanya dalam pengaplikasian STFT dilakukan pada komputer menggunakan transformasi Fourier cepat, sehingga kedua variabel diskrit dan ter-kuantisasi [18].

2.3. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, mesin yang digunakan adalah IDF dengan motor listrik yang dihubungkan melalui poros serta kopling berjenis kopel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

IDF yang dilakukan penelitian memiliki spesifikasi berikut,

Name	: Induced Draft Fan (IDF)
	: 37 – CBE 326
Power	: 131 kW
Foundation	: Rigid
Motor Speed	: 1485 RPM
Diameter Impeller	: 1000 mm
Rotor Weight	: 350 kg
Transmission	: Coupling
System	: Coupling
Bearing Number	: 4



Gambar 3. Mesin IDF

Adapun posisi pengukuran getaran dilakukan pada 4 titik atau 4 posisi bearing, yaitu pada titik NDE Motor, DE Motor, DE *Fan*, dan NDE *Fan*. Masing-masing dengan arah vertikal, *horizontal* dan aksial.



Gambar 4. Vibexpert II

Pengukuran dilakukan secara langsung dengan menempelkan transduser *accelerometer* pada setiap lokasi bearing menggunakan alat ukuran getaran bernama Vibexpert II seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.

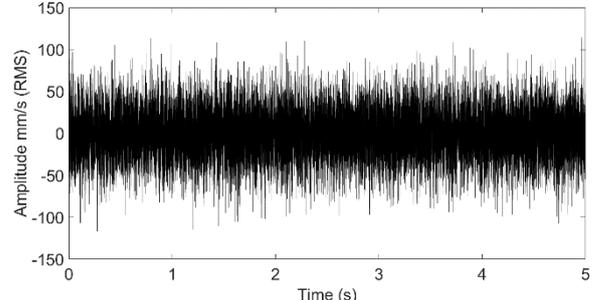
2.4. Data Pengukuran

Kegiatan pengambilan data langsung kelapangan dilakukan di tempat pelaksanaan penelitian yaitu di PT. Medco E & P, Lematang, Sumatera Selatan, dengan hasil pengukuran getaran di setiap titik seperti terlihat di Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Getaran

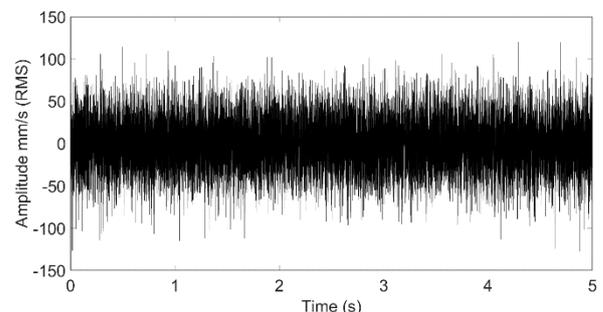
Measurement Point	H (mm/s)	V (mm/s)	A (mm/s)	
Motor	NDE (1)	1.73	2.28	1.47
	DE (2)	1.00	3.08	1.39
FAN	DE (3)	4.06	0.51	1.42
	NDE (4)	1.71	1.42	1.39

Pada tabel hasil pengambilan data akan dipilih satu posisi pengukuran pada motor dan *fan* yang memiliki nilai simpangan tertinggi yang ditujukan untuk memfokuskan pendeteksian masalah dengan hasil akhir analisis pengolahan data berbentuk spektrum.



Gambar 5. Time domain Motor DE Horizontal

Nilai simpangan tertinggi diperoleh pada hasil pengukuran titik DE dengan arah horizontal sebesar 4.06 mm/s pada bagian *fan* di mana grafik domain waktunya ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada bagian motor nilai simpangan tertinggi yang diperoleh sebesar 3.08 mm/s di titik DE dengan arah pengukuran vertikal dengan grafik domain waktu yang dapat dilihat pada Gambar 6. Kedua data domain waktu ini yang selanjutnya akan diolah menggunakan algoritma FFT dan STFT pada MATLAB.



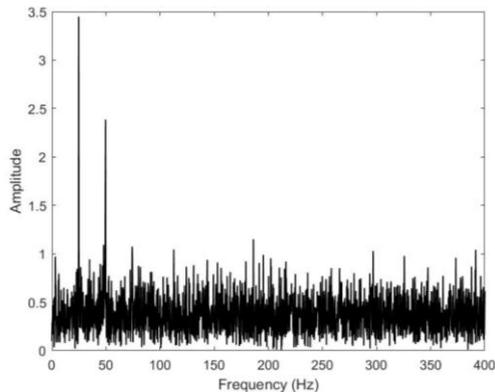
Gambar 6. Time domain *Fan* DE Vertikal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

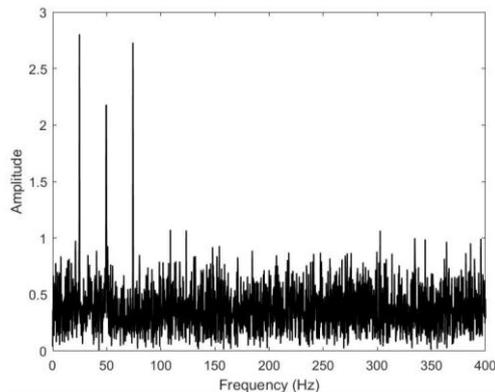
3.1 Hasil FFT

Spektrum digunakan untuk melihat sumber frekuensi dari setiap komponen IDF. Dengan grafik domain waktu akan sangat sulit membaca frekuensi yang muncul. Pada tampilan grafik domain waktu hanyalah amplitudo per-sekian waktu. Gambar 7 menunjukkan hasil dari pengolahan FFT terhadap data dalam domain waktu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Ada tiga sumber frekuensi yang memiliki nilai amplitudo besar yaitu, 24.75 Hz dan 49.5 Hz.

Nilai amplitudo paling besar adalah 3.5 mm/s yang terjadi pada frekuensi 24.75 Hz. Di mana 24.75 Hz yang setara dengan 1485 RPM adalah frekuensi satu kalinya (1X) kecepatan putar motor.



Gambar 7. Spektrum DE Motor Vertikal



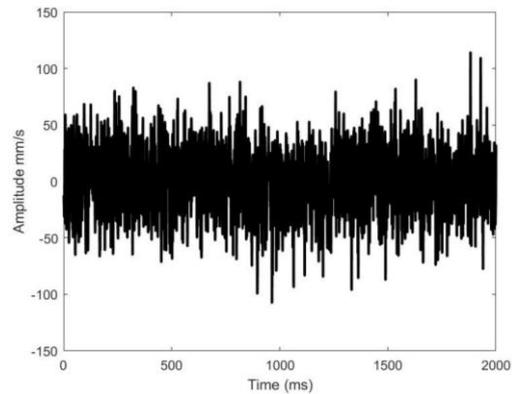
Gambar 8. Spektrum DE Fan Horizontal

Gambar 8 menunjukkan hasil dari pengolahan FFT terhadap data dalam domain waktu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Terdapat tiga amplitudo besar yang berada pada frekuensi 24.75 Hz, 49.5 Hz, dan 74.25 Hz. Nilai amplitudo paling besar terjadi pada frekuensi 24.75 Hz dengan nilai 2.8 mm/s. Jika mengacu pada referensi analisis spektrum, munculnya 1X, 2X, 3X mengindikasikan kerusakan *misalignment* atau tidak lurusnya poros penghubung antara motor dan *fan*. Selain itu, kedua spektrum memiliki banyak amplitudo kecil yang tersebar, hal ini biasanya disebut dengan *noise*.

3.2 Hasil Pemotongan Sinyal

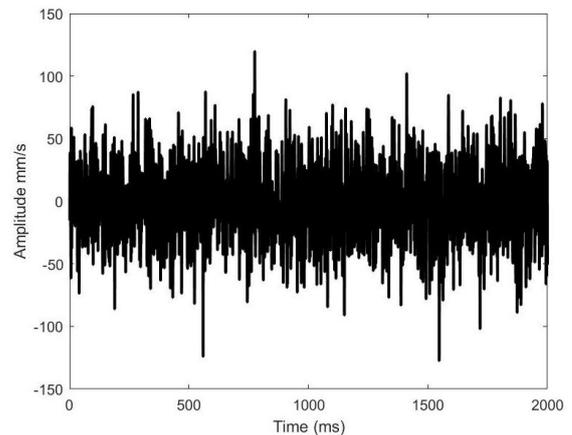
Hasil pengambilan data berupa nilai simpangan pada motor dan *fan*. Pengukuran sinyal getaran dilakukan selama lima detik dan selanjutnya

dipotong sehingga menyisakan panjang waktu sinyal sebesar dua detik.



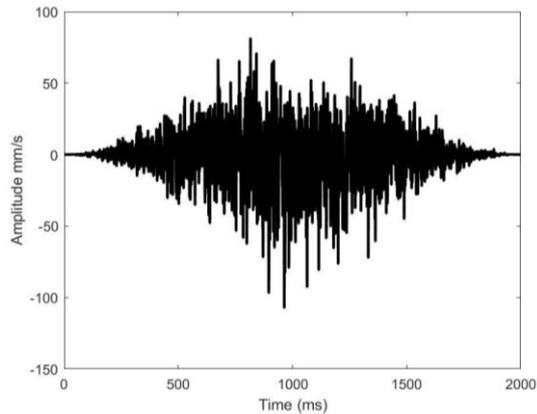
Gambar 9. Hasil Potong Getaran Motor

Gambar 9 menunjukkan hasil dari pemotongan sinyal motor DE vertikal dalam domain waktu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Hasil pemotongan sinyal DE *fan* ditunjukkan oleh Gambar 10.



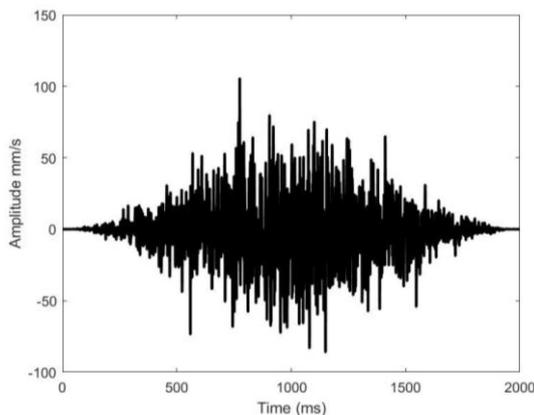
Gambar 10. Hasil Potong Getaran Fan

Sinyal hasil pemotongan memiliki awalan dan akhiran nilai amplitudo yang tidak sama dengan nol sehingga akan bermasalah ketika dibentuk menjadi grafik spektrogram. Oleh karena itu perlu membuat awalan dan akhiran nilai amplitudo menjadi nol dengan cara mengalikan dengan fungsi filter *hanning window*.



Gambar 11. Hasil *Windowing* Getaran Motor

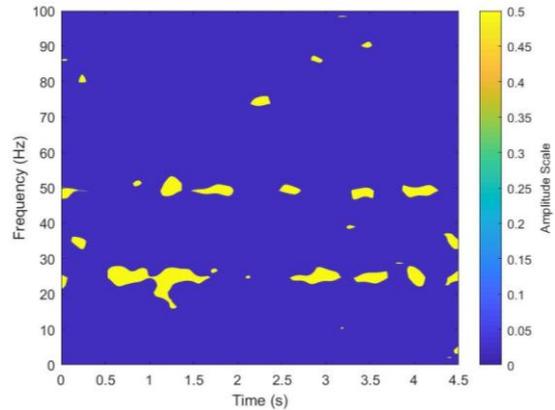
Gambar 11 dan 12 menunjukkan hasil perkalian antara sinyal yang sudah dipotong dengan fungsi *hanning window*. Terlihat di kedua sinyal getaran memiliki awalan dan akhiran nilai amplitudo yang sama-sama nol.



Gambar 12. Hasil *Windowing* Getaran Fan

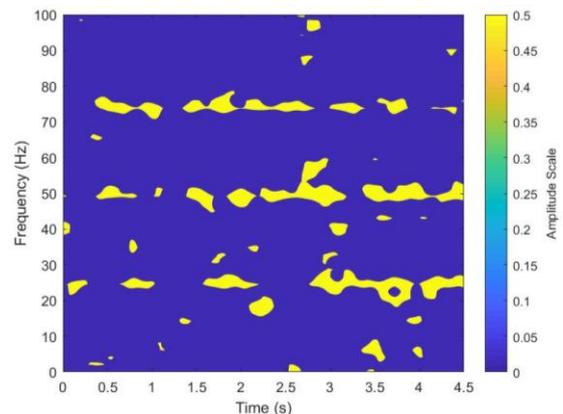
3.3 Hasil Algoritma STFT

Setelah dipotong dan dikalikan dengan fungsi *hanning window*, maka sinyal getaran tersebut akan diekstraksi fiturnya menggunakan metode STFT. Nilai-nilai yang diekstraksi pada penelitian ini adalah nilai STFT, nilai rata-rata amplitudo pada sebuah sinyal, nilai frekuensi dan nilai waktu saat amplitudo tertinggi. Keempat nilai tersebut digunakan karena metode STFT menghasilkan suatu nilai waktu dan frekuensi, dan juga amplitudo. Ke empat nilai tersebut digunakan karena metode STFT menghasilkan suatu nilai waktu dan frekuensi, dan juga amplitudo. Nilai STFT adalah suatu bilangan kompleks yang terdiri dari bilangan real dan imajiner yang merepresentasikan suatu nilai dalam domain waktu dan frekuensi. Agar nilai kompleks tersebut dapat dihitung, maka nilai tersebut diabsolutkan.



Gambar 13. Spektrogram Sinyal Getaran Motor

Hasil algoritma STFT untuk sinyal getaran motor dan *fan* ditunjukkan oleh Gambar 13 dan 14, di mana parameter frekuensi getaran diplot terhadap waktu. Spektrogram merupakan representasi visual dari bunyi dalam bentuk dua dimensi, yang menggambarkan hubungan dari frekuensi dengan waktu, amplitudo ditandai hanya secara perkiraan oleh kecerahan dari warna. Amplitudo getaran direpresentasikan dengan degradasi warna kuning bermakna nilai amplitudo besar dan warna biru bermakna nilai amplitudo kecil.



Gambar 14. Spektrogram Sinyal Getaran Fan

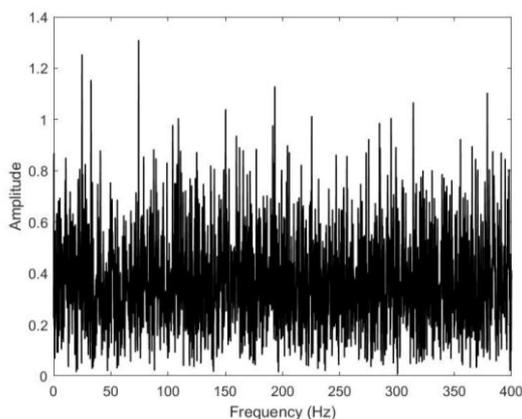
Hasil spektrogram pada Gambar 13 menunjukkan adanya dua amplitudo yang tinggi pada frekuensi 24.75 Hz dan 49.5 Hz. Karakteristik spektrogram ini memiliki makna yang sama dengan data yang dihasilkan oleh algoritma FFT. Terlihat densitas warna dominan terletak pada dua frekuensi, yaitu 1X dan 2X. Selain itu ada sedikit warna kuning juga tersebar di beberapa area yang bersumber dari *noise*.

Gambar 14 menunjukkan densitas warna kuning dominan berada di frekuensi 24.75 Hz, 49.5 Hz, dan 74.25 Hz. Karena pada data sinyal getaran terdapat banyak *noise* sehingga

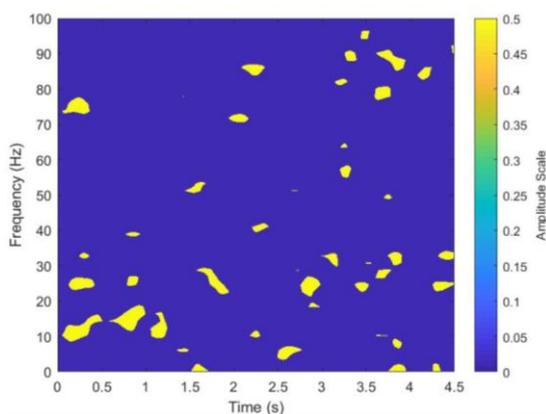
beberapa amplitudo juga ditemukan pada spektrogram di luar dari area frekuensi dominan. Semua spektrum dan spektrogram menunjukkan frekuensi dominan pada 1X, 2X dan 3X, hal ini menguatkan hasil diagnosis kerusakan IDF adalah *misalignment*. Jika mengacu pada standar ISO 10816-3 *velocity*, nilai getaran masuk dalam kategori mesin masih bisa beroperasi namun dalam waktu terbatas.

3.4 Validasi Hasil Analisis

Dilakukan *alignment* pada IDF untuk memastikan bahwa pengolahan sinyal dan hasil analisis sudah benar. Hasil pengolahan data setelah *alignment* ditunjukkan oleh Gambar 15 dan 16.



Gambar 15. Spektrum Sinyal Getaran *Fan* Setelah *Alignment*



Gambar 16. Spektrogram Sinyal Getaran *Fan* Setelah *Alignment*

Terlihat pada Gambar 15 amplitudo paling besar yang semula adalah 2.8 mm/s pada frekuensi 1X turun menjadi 1.3 mm/s. Amplitudo paling besar 1.35 pada frekuensi 2X. Karakteristik spektrum setelah *alignment* sudah tidak menunjukkan adanya kerusakan

misalignment. Hasil ini juga didukung oleh spektrogram STFT pada Gambar 16. Terlihat densitas warna kuning sudah tidak terkumpul pada frekuensi 1X, 2X dan atau 3X. Dari grafik spektrum dan spektrogram, kerusakan *misalignment* pada IDF sudah teratasi.

4. KESIMPULAN

Metode FFT dan STFT berhasil diterapkan pada sinyal getaran IDF yang semula berbentuk domain waktu menjadi spektrum dan spektrogram. Hasil dari semua grafik spektrum dan spektrogram menunjukkan amplitudo IDF dominan pada frekuensi 1X, 2X dan 3X. Karakteristik ini menandakan adanya kerusakan *misalignment* pada IDF. Hasil analisis terbukti benar karena setelah proses *alignment*, nilai amplitudo tertinggi pada spektrum sebesar 2.8 mm/s turun menjadi 1.3 mm/s. Pola kerusakan *misalignment* sudah tidak tampak pada grafik spektrum. Grafik spektrogram juga menampilkan tidak adanya frekuensi dominan yang mengarah ke *misalignment*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Subramanian, H. Roy, A. Mondal, D. Ghosh, S. K. Laha, and K. Janardhanji Uke, "Failure of induced draft-ID fan blade in coal fired boiler," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 122, p. 105282, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.ENGFAILANAL.2021.105282.
- [2] Y. Lv, F. Fang, T. Yang, and C. E. Romero, "An early fault detection method for induced draft fans based on MSET with informative memory matrix selection," *ISA Trans.*, vol. 102, pp. 325–334, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.ISATRA.2020.02.018.
- [3] H. Li, W. Yang, P. Liu, and M. Wang, "Resonance measurement and vibration reduction analysis of an office building induced by nearby crane workshop vibration," *J. Build. Eng.*, vol. 58, p. 105018, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.105018.
- [4] D. Romahadi, A. A. Luthfie, and L. B. D. Dorion, "Detecting classifier-coal mill damage using a signal vibration analysis," *SINERGI*, vol. 23, no. 3, pp. 175–183, Sep. 2019, doi: 10.22441/SINERGI.2019.3.001.
- [5] D. Romahadi, D. Feriyanto, W. Suprihatiningsih, and W. N. Setiawan, "Perancangan sistem diagnosis getaran motor menggunakan jaringan saraf tiruan propagasi mundur," *J. Rekayasa Mesin*, vol.

- 13, no. 1, pp. 37–46, Jun. 2022, doi: 10.21776/UB.JRM.2022.013.01.5.
- [6] D. Romahadi, A. A. Luthfie, W. Suprihatiningsih, and H. Xiong, "Designing expert system for centrifugal using vibration signal and Bayesian Networks," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 12, no. 1, p. 23, Jan. 2022, doi: 10.18517/IJASEIT.12.1.12448.
- [7] F. Anggara, D. Romahadi, A. L. Avicenna, and Y. H. Irawan, "Numerical analysis of the vortex flow effect on the thermal-hydraulic performance of spray dryer," *SINERGI*, vol. 26, no. 1, pp. 23–30, Feb. 2022, doi: 10.22441/SINERGI.2022.1.004.
- [8] A. A. Luthfie, D. Romahadi, H. Ghufroon, and S. D. Murtyas, "Numerical simulation on rear spoiler angle of mini mpv car for conducting stability and safety," *SINERGI*, vol. 24, pp.23–28, 2020, doi: <http://doi.org/10.22441/sinergi.2020.1.004>.
- [9] J. Du, J. Liang, and L. Zhang, "Research on the failure of the induced draft fan's shaft in a power boiler," *Case Stud. Eng. Fail. Anal.*, vol. 5–6, pp. 51–58, Apr. 2016, doi: 10.1016/J.CSEFA.2016.02.002.
- [10] D. Mustafa, Z. Yicheng, G. Minjie, H. Jonas, and F. Jürgen, "Motor Current Based Misalignment Diagnosis on Linear Axes with Short- Time Fourier Transform (STFT)," *Procedia CIRP*, vol. 106, pp. 239–243, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.PROCIR.2022.02.185.
- [11] M. Čala and P. Beneš, "A Method for Estimation of Motor Rotational Speed from STFT Spectrogram at a Non-stationary Conditions," *I FAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 6, pp. 283–288, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.IFACOL.2018.07.167.
- [12] D. Liu, W. Cheng, and W. Wen, "Rolling bearing fault diagnosis via STFT and improved instantaneous frequency estimation method," *Procedia Manuf.*, vol. 49, pp. 166–172, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.07.014.
- [13] K. Liu *et al.*, "Endpoint detection of distributed fiber sensing systems based on STFT algorithm," *Opt. Laser Technol.*, vol. 114, pp. 122–126, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.OPTLASTEC.2019.01.036.
- [14] G. Manhertz and A. Bereczky, "STFT spectrogram based hybrid evaluation method for rotating machine transient vibration analysis," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 154, p. 107583, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.YMSSP.2020.107583.
- [15] D. Romahadi, A. A. Luthfie, W. Suprihatiningsih, and H. Xiong, "Designing expert system for centrifugal using vibration signal and Bayesian Networks," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 12, no. 1, p. 23, Jan. 2022, doi: 10.18517/IJASEIT.12.1.12448.
- [16] V. Dekys, P. Kalman, P. Hanak, P. Novak, and Z. Stankovicova, "Determination of Vibration Sources by Using STFT," *Procedia Eng.*, vol. 177, pp. 496–501, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.02.251.
- [17] F. Jurado and J. R. Saenz, "Comparison between discrete STFT and wavelets for the analysis of power quality events," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 62, no. 3, pp. 183–190, Jul. 2002, doi: 10.1016/S0378-7796(02)00035-4.
- [18] A. Jablonski and K. Dziedziech, "Intelligent spectrogram – A tool for analysis of complex non-stationary signals," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 167, p. 108554, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.YMSSP.2021.108554.