



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 3441-3453

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisa Parameter Vibrasi Menggunakan Fast Fourier Transform Pada Genset

Wisnu Budiarjo¹, Reza Istoni²

^{1,2}Teknik, Teknik Elektro, Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia

budiarjowisnu@gmail.com

Abstrak

Implementasi strategi Preventive Maintenance berbasis kondisi atau Condition-Based Maintenance (CBM) menjadi sangat krusial dalam menjaga keandalan sistem kelistrikan, khususnya pada unit generator set (genset). Pengawasan getaran merupakan parameter utama dalam mendeteksi anomali mekanis sebelum terjadi kegagalan sistemik. Selain pada komponen motor listrik dan generator, pemantauan getaran pada keseluruhan unit genset diperlukan untuk menjamin stabilitas operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) guna menganalisis kerusakan mesin secara real-time. Fokus utama analisis mencakup identifikasi kondisi rotor yang tidak seimbang (unbalance) dan ketidaksejajaran poros (misalignment). Metodologi penelitian melibatkan pengambilan data getaran dengan waktu sampling selama 10 detik. Untuk menguji sensitivitas sistem, dilakukan simulasi variasi beban ketidakseimbangan mekanis mulai dari 8 gram hingga 104 gram. Data mentah dari sensor getaran dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan FFT, yang kemudian divalidasi berdasarkan standar getaran linier internasional seperti ISO, IEC 34-14, dan DIN 60034-14. Nilai amplitudo dan frekuensi pada spektrum FFT menjadi indikator penentu kesehatan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengawasan mampu mengidentifikasi jenis kerusakan secara presisi sesuai target rancangan. Pada pengujian ekstrem dengan bobot tidak seimbang sebesar 104 gram, terdeteksi lonjakan amplitudo signifikan yang mendominasi pada rentang frekuensi 60 Hz hingga 100 Hz. Temuan ini membuktikan bahwa analisis FFT efektif digunakan sebagai instrumen diagnostik dini dalam sistem CBM untuk mencegah kerusakan fatal pada aset industri.

Kata Kunci: Genset, Getaran, Unbalanced, FFT

1. Latar Belakang

Analisis vibrasi genset adalah aspek penting dalam menjaga kesehatan dan kinerja genset. Mesin genset (generator set) merupakan salah satu bentuk motor pembakaran dalam (internal combustion engine)[1] yang dimana pada motor diesel yang diisap oleh torak dan dimasukkan ke dalam ruang bakar hanya udara, dan selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi, dalam hal ini getaran atau vibrasi yang tinggi merupakan indikasi bahwa kondisi motor listrik sedang mengalami masalah yang serius. [2] Serta analisis getaran genset adalah aspek penting dalam menjaga kesehatan dan kinerja set generator. Kerusakan pada generator merupakan salah satu kasus vibrasi yang umum ditemui di lapangan akibat dari akumulasi karat atau kotoran pada komponen berputar dan pemasangan rotor dan bearing motor setelah overhaul/rewinding yang tidak sejajar (misalignment). Dampak kerusakan tersebut mengakibatkan proses produksi berhenti. Oleh sebab itu, untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi, maka perlunya preventive maintenance dengan melakukan pemeliharaan dasar. Hal tersebut dapat dilakukan jika sistem monitoring dibangun untuk kebutuhan prediksi preventive maintenance berbasis condition-based maintenance (CBM). Dalam memonitoring vibrasi, diperlukan sensor vibrasi untuk mengukur besarnya sebuah getaran.

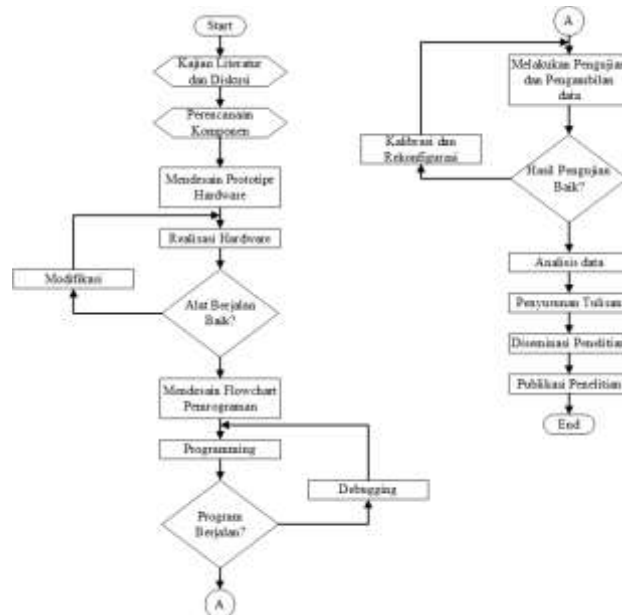
Sensor vibrasi yang digunakan di antaranya MEMS (Micro Electro Mechanical System) accelerometer [3]. Sensor ini secara ekstensif digunakan dalam teknologi sehari-hari, seperti smartphone, video game, dan lain-lain. Beberapa tipe MEMS yang terbaru dan muktahir di antaranya ADXL-312 (16 bit)[4]. Sensor ini mempunyai kemampuan programmable state machines serta mempunyai konsumsi daya yang rendah. Output dari sensor tersebut dapat diproses dengan komputer menggunakan metode FFT (Fast Fourier Transform). Transformasi Fourier Cepat (FFT) adalah alat yang kuat yang umum digunakan dalam analisis getaran untuk mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi [4]. Ini memungkinkan analisis yang lebih rinci dan akurat dari data getaran. Pengadaan perangkat ini membuat preventive maintenance menjadi sangat efisien dan rasional mengingat generator yang digunakan adalah generator berkapasitas besar dan berharga mahal. Ditinjau dari kerusakan, jika terjadi overhaul, dibutuhkan biaya yang sangat mahal dan waktu perbaikan yang cukup lama.

Bahkan pada mesin-mesin industri, jika terjadi pemberhentian produksi, terjadi efek domino yang mengakibatkan kerugian yang berlipat-lipat.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian "Analisis Parameter Vibrasi Menggunakan Fast Fourier Transform pada Genset" ini telah dilakukan kajian literature. Dari kajian literatur tersebut, diputuskan untuk menganalisis kinerja industri genset menggunakan *Fast Fourier Transform*.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Dalam Gambar 1 di atas, setelah melakukan kajian literatur, prototipe modul sensor vibrasi/getaran dikembangkan dari aspek *Hardware* dan *Software*. Prototipe tersebut diuji untuk (debugging). Selanjutnya, apabila prototipe tersebut menunjukkan kinerja yang baik, data yang diambil ke komputer akan dianalisis menggunakan metode FFT pada sisi output.

2.2 Ancangan Penelitian.

Untuk melakukan penelitian ini perlu dipersiapkan sisi hardware dan software. Maka dari itu pada bagian ini akan dijelaskan persiapan-persiapan yang diperlukan seperti mempersiapkan Genset, pembuatan panel dan persiapan pembuatan program.

Persiapan Genset

Genset yang dipersiapkan untuk penelitian ini adalah gabungan antara mesin Perkins dengan generator Stamford dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Generator Stamford Seri BCI184G

Description	Specification
A.V.R / Control Syste/	Standard Sx440 / Selfexited
Voltage Regulation	±1.5 %
Sustained Short Circuit	Self Excited Machines Do Not Sustain A Short Circuit Current
Insulation System	Class H
Protection	Ip23
Rated Power Factor	0.8

Stator Winding	Double Layer Concentric
Winding Pitch	Two Thirds
Winding Leads	12
Stator Wdg. Resistance	0.214 Ohms Per Phase At 22°C Series Star Connected
Rotor Wdg. Resistance	0.83 Ohms At 22°C
Waveform Distortion	No Load < 1.5% Non-Distorting Balanced Linear Load < 5.0%
Maximum Overspeed	2250 Rev/Min
Year Production	2004




Tabel 2 Datasheet *Engine* Perkin T3.1524

Description	Specification
Standby Power (50Hz)	26.4KW/33KVA
Rated Speed	1500 rev/min
Engine Configuration	3 Cylinder In Line, 4 Stroke, Direct Injection
Bore /Race	105mm / 127mm
Combustion	Direct Injection
Compression Ratio	19.25:1
Displacement	3.3L
Production Year	2004

Pembuatan Panel Pengukuran

Untuk penelitian pengukuran getaran (*vibrasi*) pada genset kali ini, telah dipersiapkan sensor accelerometer, modbus gateway dan wifi router dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3 Komponen Pembuatan Panel

Nama Komponen	Dimensi / Spesifikasi	Fungsi / Keterangan	Jumlah	Gambar
Panel Box Plastik	190x290x140mm	Sebagai Panel Peralatan	1	
BP#04: 3-axis Accelerometer	±6G resolution: 0.003G - accuracy: 0.1G	Sebagai Sensor Vibrasi mesin	1	
BP#01: Ambient Temperature Sensor	range: -40°C to 125°C resolution: 0.25°C accuracy: ±1°C	Sebagai sensor suhu sekitar mesin	1	

USR-DR302 Modbus to Ethernet	Eth Port: RJ45, 10/100 Mbps Baud rate: 600-460.8K(bps) Serial Port: RS485 Voltage: DC 5.0~36.0 V	Sebagai Modbus Gateway untuk mengambil data dari sensor dan mengirimkan data ke Laptop	1	
Tenda O1 Wireless Router	Outdoor Point to Point CPE WiFi Frekuensi : 2.4GHz	Sebagai ganti Wired Ethernet untuk mengirim data ke laptop	1	
Stand Tripod Speaker		Sebagai mounting panel di lapangan	1	
Aviation Plug Connector CB GX16	Set Male Female 5 Pin	Sebagai Connector Sensor ke Panel	1	
Push Button LED EWIG	Flat Self Locking 22mm 10A AC660V Hijau	Sebagai switch dan indicator panel	1	
Power Supply 12V 5A	220VAC to 12VDC 5A Switching Type Din-Rail Attachment	Sebagai power supply USR-D302	1	
Power Supply 5V 10A	220VAC to 5VDC 10A Switching Type Din-Rail Attachment	Sebagai power supply Sensor	1	

Pembuatan Software

Untuk persiapan pemrograman pada penelitian ini, perlu dipersiapkan beberapa program pada Laptop dengan *Operating System* (OS) Windows. Program-program tersebut yaitu:

Tabel 4 Software yang digunakan

Nama Software	Fungsi
USR-VCOM V3.7.2.529	Sebagai transmitter dan receiver data antara laptop dengan USR-D302 Serial to Ethernet Converter
LabVIEW V2017	Sebagai Back-End dan Front-End Programming
Microsoft Excel 2019	Sebagai Pengolah Data manual

2.3 Perancangan

Perancangan *Hardware*

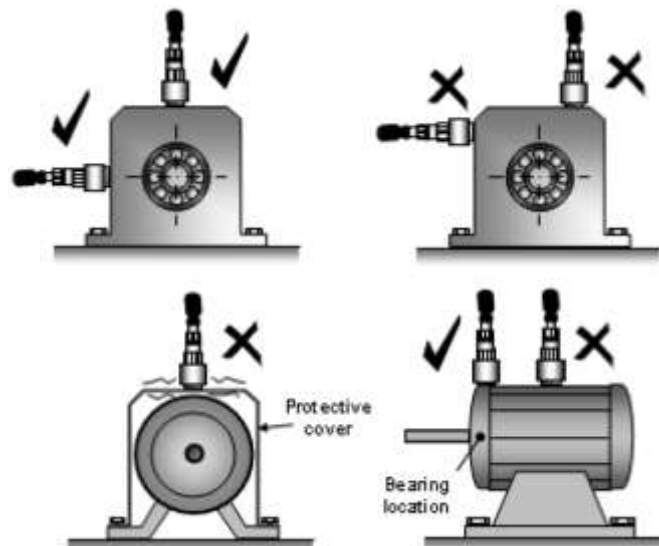
Perancangan *hardware* dalam penelitian ini mencakup sensor vibrasi dan sensor suhu ambient yang ditempatkan di bagian atas rumah bearing dari Alternator Genset serta di samping silinder mesin bagian luar. Data yang dihasilkan oleh sensor tersebut adalah dalam satuan g (gravitasi) yang dikomunikasikan dari sensor ke gerbang

modbus (serial ke ethernet) menggunakan protokol modbus RTU melalui komunikasi RS485. Data yang ditangkap oleh gateway Modbus dihubungkan ke laptop sebagai SCADA di komunikasikan menggunakan WiFi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Blok Diagram Perancangan *Hardware*

Penempatan sensor Accelerometer 3 Axis yang benar pada alternator genset adalah harus bersentuhan dengan rumah bearing dan sejajar sesuai axis X Y Z dan sedekat mungkin ke tengah bearing[5] seperti yang ditunjukkan pada gambar 3

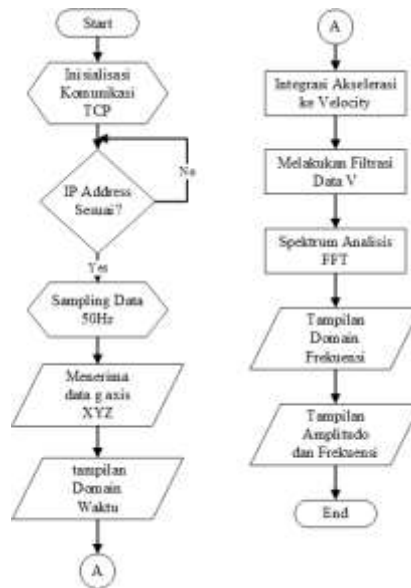


Gambar 3 Penempatan Sensor pada Rumah Bearing [5].

Sehingga penempatan sensor peneliti pada alternator lapangan menjadi seperti pada gambar 3 dibawah ini. Dengan penempatan sensor accelerometer seperti ini pembacaan yang paling optimal adalah untuk sumbu Z walaupun sumbu X dan Y juga terbaca.

Perancangan *Software*

Gambar 4 berikut menunjukkan *flowchart* untuk perancangan pengambilan data dan pengkonversian ke domain frekuensi.

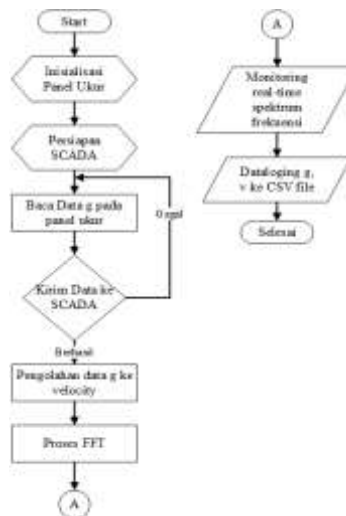


Gambar 4 Flowchart Pemrograman LabVIEW

Gambar 4 menunjukkan bagaimana FFT digunakan untuk mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi. Analisis spektrum FFT yang digunakan untuk memantau kerusakan pada mesin getaran sesuai standar yang berlaku. Hasil integrasi percepatan (m/s²) ke kecepatan (mm/s) digunakan.

Cara Kerja Sistem

Secara garis besar, sistem dalam penelitian ini bekerja dengan mengukur vibrasi dan suhu ambien genset, dan kemudian menggunakan FFT untuk menganalisis kecepatan getaran pada spektrum frekuensi. Metode ini digambarkan dalam flowchart berikut pada Gambar 5

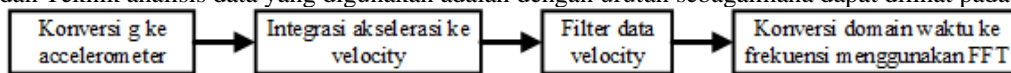


Gambar 5 Flowchart Cara Kerja Sistem

Data sensor pada TIBBO BP#04 menunjukkan accelerometer tiga sumbu pada panel ukur menggunakan USR-DR302 dalam protokol modbus RTU. Namun, gateway modbus USR-DR302 mengubah protokol RTU ke protokol modbus TCP. Tools pemrograman LabVIEW mengirimkan data ke sistem SCADA. SCADA menerima data dalam bentuk g (gravitasi), yang kemudian diolah untuk menghasilkan data akselerasi dan kecepatan dan diintegrasikan menjadi data kecepatan dan kecepatan. Untuk memantau spektrum secara real-time, FFT digunakan untuk mengubah data kecepatan ke domain frekuensi.

Metode dan Teknik Analisis Data

Metode dan Teknik analisis data yang digunakan adalah dengan urutan sebagaimana dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6 Urutan Teknik Analisis Data

Pada konversi g ke accelerometer nilai 1g yang digunakan peneliti adalah 9.8 m/s², sehingga konversi g ke accelerometer cukup dengan pembagian nilai float yang diperoleh dari sensor.

Pada langkah pengintegrasian akselerasi ke velocity, metode yang digunakan pada masing-masing axis adalah Simpson 3/8 rule. Hasil dari output integrasi ini didapatkan dengan persamaan.

$$\int ydx = \frac{3h}{8} [(y_0 + y_4) + 2(y_3) + 3(y_1 + y_2)] \quad (1)$$

Sinyal hasil konversi akselerasi ke velocity di filter terlebih dahulu menggunakan metode high pass filter dengan topologi butterworth. Nilai dari *high cutoff frequency* (fh) dan *low cutoff frequency* (fl) diamati menggunakan hubungan sebagai berikut:

$$0 < f_1 < f_2 < 0.5f_s \quad (2)$$

Dimana f₁ adalah *low cutoff frequency* (fl), f₂ adalah *high cutoff frequency* (fh), dan f_s adalah frekuensi sample.

Pada langkah berikutnya adalah metode konversi data velocity dari domain waktu ke domain frekuensi menjadi sebuah spektrum frekuensi secara *real-time* yaitu menggunakan metode FFT. Hasil filter butterworth dituangkan ke persamaan FFT seperti dibawah ini.

$$X(k) = \sum_{n=1}^{N-2} x(n)W_N^{kn} + \sum_{n=2}^{N-1} x(n)W_N^{kn} \quad (3)$$

Dimana x(n) adalah fungsi dalam domain waktu dan X(k) adalah domain frekuensi ^[6].

Metode Integrasi *Simpson's 3/8 rule* Percepatan ke Kecepatan

Perubahan percepatan menjadi kecepatan adalah hasil integrasi dari nilai percepatan yang didapat dari nilai gravitasi. Nilai percepatan sendiri didapat dari persamaan sederhana dibawah ini.

$$A = G \times 9.8m/s^2 \quad (4)$$

Sebagai contoh bila pembacaan nilai G adalah 1,536 berarti Percepatan adalah 15,0528m/s².

Hasil tersebut kita integrasikan menggunakan metode integrasi *Simpson's 3/8 rule* seperti pada persamaan 1 Untuk melakukan integrasi dengan metode ini dibutuhkan 4 nilai. Dengan penggunaan transfer rate WiFi (*Wireless Fidelity*) 10 Mbps maka perhitungan waktu transmisi per data adalah:

$$Time = \frac{1}{10Mbps} = 100ns \quad (5)$$

Untuk setiap datanya Maka Δt atau h dapat ditulis 100ns dan sesuai persamaan 1 serta data yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\int adt = \frac{3 \times 0.0000001}{8} [(-22.83008 + 24.96256) + 2(9.18848) + 3(22.95552 + 44.90752)]$$

$$\int adt = 0.0000008$$

$$v = 0.0000008m/s \quad (6)$$

Hasil metode integrasi *Simpson's 3/8 rule* dari percepatan adalah 8x10⁻⁷m/s atau 8x10⁻⁴mm/s

Spesifikasi FFT

Untuk perhitungan FFT pada penelitian ini digunakan jumlah data 10000 selama 10 detik sehingga *frekuensi sampling* dapat dihitung:

$$Frekuensi\ Sampling\ (F_s) = \frac{N}{t} = \frac{10000}{10} = 100Hz$$

sehingga spesifikasi spektrum keluaran FFT dihitung sebagai berikut :

$$(F_{max}) = \frac{F_s}{2} = \frac{100Hz}{2} = 50Hz$$

$$Jumlah\ spectral\ lines = \frac{N}{2} = \frac{100}{2} = 50$$

$$Resolusi\ Frekuensi\ (dF) = \frac{F_s}{N} = \frac{50}{100} = 0.5 \quad (7)$$

Standar Vibrasi

Untuk mengukur getaran yang dihasilkan dalam penelitian ini, sensor vibration digunakan mengikuti Standar IEC 34-14 dan DIN 60034-14 digunakan karena merupakan acuan internasional untuk batas nilai getaran pada mesin putar elektrik tanpa suspensi, pegas, atau landasan elastis.

Tabel 5 Standard Vibrasi Merujuk Standard IEC 34-14[7]

Grade	Rated Speed (rpm)	Maximum r.m.s Values of Vibration Velocity (mm/s)			
		Machine Measure in a State of Free Suspension			
		56≤H<132	132≤H<225	225≤H<400	400≤H<630
N	600≤n<1800	1.8	1.8	2.8	2.8
	1800<n≤3600	1.8	2.8	4.5	4.5
R	600≤n<1800	0.71	1.12	1.8	-
	1800<n≤3600	1.12	1.8	2.8	-
S	600≤n<1800	0.48	0.71	1.12	-
	1800<n≤3600	0.71	1.12	1.8	-

Seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 dan table 3 di bawah ini, ada standar ISO dan DIN EN 60034-14 untuk getaran linear. Standar ISO membacanya mirip dengan Tabel IEC 34-14, tetapi menggunakannya terbatas pada frekuensi antara 10 dan 1000 Hz.

Tabel 6 Standard Vibrasi Merujuk Standard DIN 60034-14

Grade	Rated Speed (rpm)	Maximum r.m.s Values of Vibration Velocity (mm/s)		
		Machine Measure in a State of Free Suspension		
		80-112	132-200	225-400
N	600-3600	1.8	1.8	3.5
R	600-1800	0.71	1.12	1.8
	600-1800	0.71	1.12	1.8
S	600-1800	0.45	0.71	1.12
	1800-3600	0.71	1.12	1.8

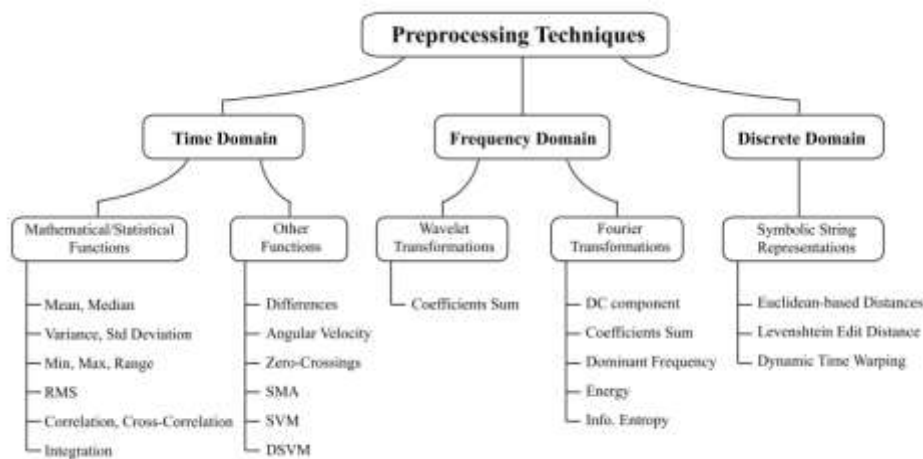
Tabel 7 ISO Standard untuk Getaran Linear

Engine Speed RPM (min ⁻¹)	Power Output (KVA)	S	Vibration Displacement RMS (mm)	Vbration Velocity RMS (mm/s)	Vibration Acceleration RMS (mm/s ²)
1300 ≤ RPM ≤ 2000	250 < S		0.32	20	13

720 ≤ RPM ≤ 1300	250 < S ≤ 1250	0.32	20	13
	1250 < S	0.29	18	11
The Broad band is taken as 10 Hz – 1000 Hz				

2.4 Persiapan Data Accelerometer Sensor

Gerakan teratur suatu benda dari posisi diam atau seimbang disebut getaran. Getaran dapat didefinisikan sebagai gaya osilasi terhadap suatu titik oleh getaran di udara atau getaran mekanis yang berasal dari berbagai mesin mekanis yang bergerak atau bertranslasi. Dengan menggunakan akselerometer sebagai sensor vibrasi, sinyal tersebut dapat dipantau. Namun, tahap pra-pemrosesan yang rumit diperlukan untuk mengidentifikasi karakterisasi vibrasi dalam jangka waktu tertentu. Banyak metode telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini, tetapi pendekatan domain frekuensi yang paling efektif dievaluasi dengan FFT, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7



Gambar 7 Varian teknik pra-pemrosesan

Fast Fourier Transform

FFT adalah algoritma untuk menghitung Discrete Fourier Transform (DFT) dengan cepat dan efisien. Perhitungan DFT secara langsung membutuhkan operasi aritmatika sebanyak $O(N^2)$ atau mempunyai orde N^2 , sedangkan perhitungan dengan FFT akan membutuhkan operasi sebanyak $O(N \log N)$. DFT dinyatakan dalam persamaan [3].

$$X_n = \sum_{r=0}^{N-1} x_r W^{rn} \quad (8)$$

Persamaan N dibagi 2, maka penjumlahan pada X_n dapat dibagi menjadi 2 yaitu penjumlahan dalam bentuk r genap dan untuk r ganjil. DFT untuk r genap yaitu $\{x_0, x_2, \dots, x_{(N-2)}\}$ dan ditulis sebagai:

$$E_n = \sum_{r=0}^{N/2-1} x_{2r} W^{2rn} \quad (9)$$

DFT untuk r ganjil yaitu $\{x_1, x_3, \dots, x_{(N-1)}\}$ dan ditulis sebagai:

$$O_n = \sum_{r=0}^{N/2-1} x_{(2r+1)} W^{(2r+1)n} \quad (10)$$

DFT dalam deret sebanyak N dapat dinyatakan dengan dua DFT dalam deret sebanyak N/2.

$$X_n = E_n + W^n O_n \quad (11)$$

Dengan cara ini, maka untuk mencari spektrum sinyal tertentu diperlukan sebanyak $2 \times (N/2)^2 = 2 \times N^2/4 = N^2/2$ perkalian. Jika memperhitungkan perkalian dengan W^n maka jumlah perkalian yang harus dilakukan adalah $N^2/2 + N$. Dengan asumsi $N \ll N^2$, maka dapat dinyatakan jumlah perkalian yang dibutuhkan adalah dalam orde $N^2/2$ atau $O(N^2/2)$ yaitu setengah jumlah perkalian yang diperlukan jika digunakan cara lama.

Jika N/2 dapat dibagi 2, maka dapat dinyatakan DFT N/2 titik masing-masing dengan 2 DFT N/4 titik. Hasilnya pengurangan jumlah perkalian yang lebih banyak lagi.

Jika $N=2^M$ (M disebut radiks) maka prosedur diatas dapat dilakukan berulang-ulang hingga sampai pada DFT 1 titik yaitu $X_0 = x_0$ yang berarti tidak diperlukan perkalian.

Dengan $N=2^M$ maka berarti ada M tingkat dimana $M=\log_2 N$. pada setiap tingkat harus ada N perkalian, maka algoritma memerlukan $N \log_2 N$ perkalian. Keuntungan menggunakan FFT dibandingkan DFT sebesar [3]:

$$\frac{N^2}{N \log_2 N} = \frac{N}{M} \quad (12)$$

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian ini didapatkan data-data dengan parameter g dari XYZ axis, v dari XYZ axis, titik puncak (*peak*) dari v pada XYZ axis, frekuensi pada saat *peak* dari v pada XYZ axis dan *ambient temperature*. Datalogging yang didapat sebagaimana telah dijelaskan dan disimpan dengan format file “txt”. Cuplikan data tersebut dapat dilihat pada gambar 6.

Hasil Raw Data Pada Datalogger

Dalam sub-bab ini akan ditampilkan cuplikan-cuplikan datalogging hanya dari raw data gravitasi (g) tanpa parameter lainnya. Berikut adalah cuplikan data selama 10 detik untuk kondisi tanpa beban *unbalanced* dapat dilihat pada gambar

Sumbu X G	Sumbu Y G	Sumbu Z G	Sumbu X Velocity	Sumbu Y Velocity	Sumbu Z Velocity	Sumbu X PEAK	Sumbu Y PEAK	Sumbu Z PEAK	Sumbu X FREQ	Sumbu Y FREQ	Sumbu Z FREQ	Temperature
-1,337,600	-6,553,600	-2,329,600	-0,286493	-0,046137	0,000008	2,671,901	1,832,1040,000822	37,332,011	44,196,299	40,478,249	38,500,000	
-4,940,800	-6,275,200	2,342,400	-0,286493	-0,046137	0,000008	2,671,901	1,832,1040,000822	37,332,011	44,196,299	40,478,249	38,500,000	
-1,168,000	-6,553,600	4,582,400	-0,286493	-0,046137	0,000008	2,671,901	1,832,1040,000822	37,332,011	44,196,299	40,478,249	38,500,000	
-5,056,000	-3,472,000	0,937600	-0,286493	-0,046137	0,000008	2,671,901	1,832,1040,000822	37,332,011	44,196,299	40,478,249	38,500,000	
-3,708,800	-3,334,400	2,547,200	-0,286493	-0,046137	0,000008	2,671,901	1,832,1040,000822	37,332,011	44,196,299	40,478,249	38,750,000	
0,297600	6,550,400	0,662400	0,037846	-0,019614	0,000018	9,318,627	4,456,0390,001279	26,476,004	63,544,395	85,370,493	38,500,000	
-1,609,600	-1,155,200	-0,684800	0,037846	-0,019614	0,000018	9,318,627	4,456,0390,001279	26,476,004	63,544,395	85,370,493	38,750,000	
0,515200	-2,553,600	3,078,400	0,037846	-0,019614	0,000018	9,318,627	4,456,0390,001279	26,476,004	63,544,395	85,370,493	38,750,000	
0,640000	0,579200	2,518,400	0,037846	-0,019614	0,000018	9,318,627	4,456,0390,001279	26,476,004	63,544,395	85,370,493	38,750,000	
-2,320,000	-3,484,800	-0,528000	-0,053050	0,002617	-0,000001	10,228,901	7,539,2460,001562	35,193,576	36,046,686	27,793,469	38,750,000	
-6,348,800	3,174,400	0,726400	-0,053050	0,002617	-0,000001	10,228,901	7,539,2460,001562	35,193,576	36,046,686	27,793,469	38,500,000	
-6,553,600	-6,553,600	2,400,000	-0,053050	0,002617	-0,000001	10,228,901	7,539,2460,001562	35,193,576	36,046,686	27,793,469	38,500,000	
-3,475,200	-6,553,600	1,536,000	-0,053050	0,002617	-0,000001	10,228,901	7,539,2460,001562	35,193,576	36,046,686	27,793,469	38,500,000	
-5,091,200	-0,896000	0,230400	-0,053050	0,002617	-0,000001	10,228,901	7,539,2460,001562	35,193,576	36,046,686	27,793,469	38,500,000	

Gambar 6 Isi Datalogging

Hasil Data Raw Pada Datalogger

Pada hasil data raw pada datalogger, bagian ini hanya menampilkan cuplikan datalogging dari data murni gravitasi (g) tanpa parameter lainnya. Gambar 7 menunjukkan cuplikan data selama sepuluh detik untuk kondisi tanpa beban yang tidak seimbang.

Sumbu X G	Sumbu Y G	Sumbu Z G
-1,337,600	-6,553,600	-2,329,600
-4,940,800	-6,275,200	2,342,400
-1,168,000	-6,553,600	4,582,400
-5,056,000	-3,472,000	0,937600
-3,708,800	-3,334,400	2,547,200
0,297600	6,550,400	0,662400
-1,609,600	-1,155,200	-0,684800
0,515200	-2,553,600	3,078,400
0,640000	-0,579200	2,518,400
-2,320,000	-3,484,800	-0,528000

Gambar 7 Cuplikan Data g Tanpa Beban *Unbalanced*.

Menurut metode pengujian pada bagian 7, variasi bobot tidak seimbang atau *Unbalanced*. adalah 8 gram, 14 gram, dan 104 gram, seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 (a) (b) (c).

Date Time	Sumbu X G	Sumbu Y G	Sumbu Z G
30/07/2021 17:32:10	-4,246400	-2,496000	1,036800
30/07/2021 17:32:11	1,779200	-3,424000	1,312000
30/07/2021 17:32:12	-6,553600	-1,584000	1,084800
30/07/2021 17:32:13	-4,620800	-2,502400	3,766400
30/07/2021 17:32:14	6,550400	-4,300800	0,806400
30/07/2021 17:32:15	-6,000000	2,931200	4,707200
30/07/2021 17:32:16	-0,307200	-3,478400	-1,644800
30/07/2021 17:32:17	1,872000	-4,579200	3,395200
30/07/2021 17:32:18	0,291200	3,036800	4,937600
30/07/2021 17:32:19	0,483200	-5,555200	2,112000
30/07/2021 17:32:20	-0,236800	-6,553600	-2,796800

(a)

Date Time	Sumbu X G	Sumbu Y G	Sumbu Z G
30/07/2021 16:11:40	-0,294400	0,019200	1,132800
30/07/2021 16:11:41	-1,894400	0,428800	1,014400
30/07/2021 16:11:42	6,550400	-5,321600	0,822400
30/07/2021 16:11:43	-1,584000	-0,339200	0,345600
30/07/2021 16:11:44	-2,006400	-6,553600	-0,313600
30/07/2021 16:11:45	-3,718400	-3,206400	1,753600
30/07/2021 16:11:46	5,494400	-2,089600	2,352000
30/07/2021 16:11:47	-0,352000	4,752000	2,630400
30/07/2021 16:11:48	-5,529600	-2,758400	2,054400
30/07/2021 16:11:49	-5,561600	2,553600	1,843200
30/07/2021 16:11:50	-3,084800	-5,875200	-0,675200

(b)

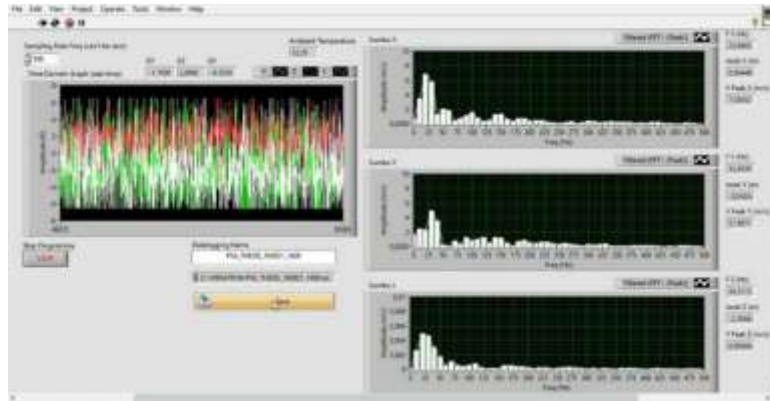
Date Time	Sumbu X G	Sumbu Y G	Sumbu Z G
31/07/2021 16:40:40	5,276800	-6,553600	3,571200
31/07/2021 16:40:41	3,971200	-6,553600	2,048000
31/07/2021 16:40:42	6,550400	-3,382400	-0,105600
31/07/2021 16:40:43	6,550400	-5,235200	2,502400
31/07/2021 16:40:44	-4,806400	-3,827200	1,024000
31/07/2021 16:40:45	4,492800	-6,451200	0,944000
31/07/2021 16:40:46	-5,657600	-1,049600	2,256000
31/07/2021 16:40:47	0,860800	2,540800	-1,248000
31/07/2021 16:40:48	1,260800	4,316800	3,862400
31/07/2021 16:40:49	-0,739200	-2,006400	0,364800
31/07/2021 16:40:50	-3,676800	-1,616000	0,300800

(c)

Gambar 8 (a) Bobot 8gr, (b) Bobot 14gr, (c) Bobot 104gr

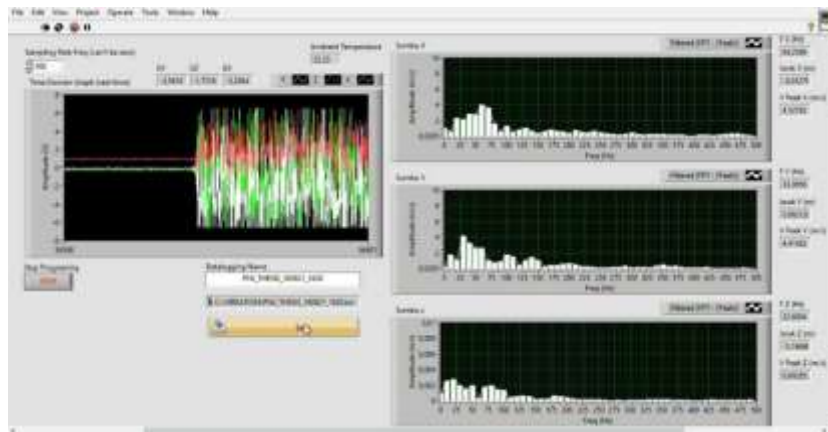
Hasil Bentuk Spektrum FFT pada SCADA

Dengan menggunakan FFT pada sistem SCADA ini, analisis per-detik menghasilkan tiga spektrum dengan domain frekuensi untuk masing-masing axis XYZ. Cuplikan spektrum untuk kondisi tanpa beban tidak seimbang dapat dilihat pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Hasil Spektrum FFT Kondisi Tanpa Beban

Untuk kondisi beban dengan metode pengujian 9, variasi bobot tidak seimbang 8 gram, 14 gram, dan 104 gram ditunjukkan pada gambar 9 sebagai spektrum FFT untuk kecepatan untuk bobot tidak seimbang atau *unbalance* 104 gram.



Gambar 10 Spektrum FFT dengan Beban 104gr

3.4 Pembahasan

Karena sensor ditempatkan pada alternator yang sejajar dengan sumbu Z, sumbu X dan Z adalah sumbu yang paling ideal untuk menentukan kondisi genset. Oleh karena itu, sumbu X dan Z adalah subjek utama dari diskusi kita saat ini. Menurut hasil pada gambar 6,

Dalam kondisi tanpa beban, frekuensi sumbu X dan Z dengan amplitudo tertinggi terjadi pada 20 Hz hingga 25 Hz dengan amplitudo 0 hingga 56 mm/s. Sebaliknya, dalam kondisi dengan bobot tidak seimbang 104 gram, terjadi pergeseran frekuensi yang signifikan dari 60 Hz hingga 100 Hz dengan amplitudo 0 hingga 212 mm/s. Getaran motor frekuensi rendah biasanya menyebabkan amplitudo kecepatan yang melebihi nilai yang ditunjukkan pada gambar 9 dan 10. Akibatnya, ini tidak menunjukkan kerusakan pada genset.

Seperti yang dijelaskan pada bagian 9, sinyal yang dihasilkan dari perubahan getaran ke kecepatan terlebih dahulu disaring menggunakan bandwidth yang tinggi dengan topologi *butterworth* sebelum sinyal masuk ke perubahan domain frekuensi dari domain waktu menggunakan FFT. Hasil dari filter ini adalah peniadaan ripple pada frekuensi di atas f_c (cutoff frequency) 20 Hz. Hasil filter ini dimasukkan ke FFT yang sesuai dengan spesifikasi FFT, sehingga jumlah garis spektral untuk 100 Hz adalah 50 garis spektral, yang dapat dihitung secara visual dari gambar output 9 dan 10

Oleh karena itu, hasil analisis untuk genset yang tidak seimbang sesuai dengan standar ISO untuk getaran linier pada table 7, dengan putaran mesin 1500 RPM. Selain itu, kecepatan pada sumbu Z dengan bobot tidak seimbang (*unbalance*) 104 gram adalah lebih dari 20 mm/s, atau 212 mm/s, dan kecepatan maksimum adalah 38 mm/s²

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat disimpulkan yang disesuaikan dengan standar ISO untuk getaran linier, penggunaan sensor accelerometer dan temperatur pada genset dapat mendeteksi gejala kerusakan. Kondisi *Unbalanced* rotor terdeteksi secara signifikan pada beban unbalanced 104 gram dengan frekuensi 80-90 Hz dan amplitude 212 mm/s. Dengan menggunakan FFT untuk mendeteksi gejala kerusakan dengan pembacaan kecepatan dan frekuensi, kerusakan yang disebabkan oleh *unbalanced* pada genset dapat diterjemahkan. Parameter getaran dapat digunakan untuk melacak kondisi kinerja genset. Selain itu, sistem pemantauan ini dapat digunakan sebagai data sejarah untuk prediksi perawatan.

Referensi

1. B. ADLI, "RANCANG BANGUN ALAT UKUR VIBRASI PADA MESIN POMPA ROTARY DENGAN SENSOR MEMS AKSELEROMETER", [Online]. Available: <https://digilib.itb.ac.id/assets/files/2020/MjMyMTgxMTZfQmFzaXRoQWRsaV9CdWt1VGVzaXMucGRm1.pdf>
2. B. De, A. Enslin. "Design Johan, and and experimental evaluation of a vibration energy generator." P. diss ysis, "Design, analysis and experimental evaluation of a vibration energy generator", [Online]. Available: <https://repository.nwu.ac.za/bitstream/handle/10394/42250/De%20Beer%20JAE.pdf?sequence=1>
3. Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2012). Machinery Component Maintenance and Repair. Gulf Professional Publishing.
4. F. A. Fauzan, U. Miftachul, F. I. Achmad, H. Haryanto, T. L. Deni, and Rahmawati. "Perancangan S. D. V. D. P. B. P. M. D. M. M. F. F. T. Diana, "Perancangan Sistem Deteksi Vibrasi Dan Perubahan Beban Pada Motor Dengan Menggunakan Metode Fast Fourier Transform," 2024, [Online]. Available: <http://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/664>
5. Glowacz, A. (2019). "Fault diagnosis of electric motors based on acoustic signals". Applied Acoustics. (Relevan untuk perbandingan metode deteksi kerusakan).
6. Harris, C. M., & Piersol, A. G. (2002). Harris' Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill. (Referensi standar untuk parameter getaran mekanis).
7. ISO 10816-1:1995. Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. International Organization for Standardization.
8. L. M., N. R. G., Đ. M. P., Maneski. "With frequency simulation to design the monitoring of frame structures." I. I. C. S. M. S. and E. Taško, and 393 vol., "With frequency simulation to design the monitoring of frame structures", [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/393/1/012039/meta>
9. M. H. A. Soliman, Vibration Basics and Machine Reliability Simplified: A Practical Guide to Vibration Analysis. Mohammed Hamed Ahmed Soliman. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=GE2eEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=Guide+Machine+Vibration.&ots=BLCzPIKz-t&sig=Rtm-o-QS6lSKPGDwxlELYqiD-vw>
10. Mobley, R. K. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann. (Buku utama mengenai strategi perawatan prediktif di industri).
11. R. Devit and P. Sari. "MAINTENANCE G. D. 500 K. B. F. S. B. Elda, "MAINTENANCE GENSET DUETZ 500 KV BANDARA FATMAWATI SOEKARNO BENGKULU," 2022, [Online]. Available: <https://www.ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTERAF/article/view/162>
12. Randall, R. B. (2011). Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. John Wiley & Sons. (Membahas penerapan praktis analisis getaran).
13. Rao, S. S. (2011). Mechanical Vibrations. Prentice Hall. (Teori dasar mengenai getaran pada sistem mekanik dan mesin).
14. Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Elsevier. (Panduan teknis mengenai pemrosesan sinyal getaran mesin).
15. Smith, S. W. (1997). The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing. (Referensi mendalam mengenai algoritma FFT).
16. Tandon, N., & Choudhury, A. (1999). "A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings". Tribology International.
17. Y. K. Jean, L. Raynald, and D. Philippe, "Dynamic Characterization and Predictive Maintenance Concept of Machine Tool Spindle," 2011, [Online]. Available: <https://www.scientific.net/AMM.62.147>