

IDENTIFIKASI CACAT RODA GIGI PADA PROTOTYPE FAN INDUSTRI MENGGUNAKAN ANALISIS SPEKTRUM DAN CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM

Berli Paripurna Kamiel

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Prodi Teknik Mesin
berlikamiel@umy.ac.id

Agus Arianto

Mahasiswa S1
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
agus.arianto.2015@ft.umy.ac.id

Muh. Budi Nur Rahman

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Prodi Teknik Mesin
budinurrahman@umy.ac.id

Gear is one of the power transmission systems in industrial fan that is used to reduce fan rotation. Spectrum analysis can be used to detect fault in the pair of gears. However, spectrum analysis only applies to signals that are stationary and periodic. In industrial fan, the changes of fan workload causing the signals become non-stationary and non-periodic. Continuous wavelet transform (CWT) analysis is suitable for this condition. The purpose of this research is apply the CWT analysis for the gear fault identification in industrial fan.

In this research, three variations of gear conditions were used (Normal, Fault level 1, and Fault level 2). Fault level 1 are pitting fault with 1.5 mm diameter in one tooth. Fault level 2 are fault with loss of one tooth. Data processing was performed by using MATLAB 2019a software. The results of data processing are grouped into 2 (Original data and data after Time Synchronous Averaging (TSA)). Each variation of the gear conditions is plotting in time domain, spectrum, and CWT.

The results of the research showed the CWT analysis was successfully used to identify gear fault in industrial fan. The TSA method makes the results of the CWT analysis better by reducing the noise effect. Increasing the level fault is shown by increasing value of GMF amplitude. In condition fault level 1, GMF amplitude increase 2.5 times in normal conditions. In fault level 2, the GMF amplitude increase 4 times in normal conditions and 1.5 times in fault level 1.

Keywords: Fast Fourier Transform, Gear Mesh Frequency, MATLAB, Time Synchronous Averaging, Vibration.

1. PENDAHULUAN

Fan merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan aliran pada fluida berupa udara maupun gas. Komponen *fan* secara umum terdiri dari *blade* (bilah), motor listrik, serta sistem transmisi daya. Roda gigi merupakan salah satu komponen sistem pemindahan daya. Sistem pemindahan daya melibatkan kontak antar gigi pada *gear* dan gigi pada *pinion*. Karena adanya gaya kontak yang terjadi secara terus-menerus, dapat mengakibatkan kerusakan pada permukaan gigi dan berlanjut kerusakan *pitting* (pembentukan kawah) dan berujung pada kerusakan yang parah. Deteksi awal cacat pada roda gigi sangat diperlukan sebelum terjadinya kerusakan [1].

Metode analisis konvensional seperti spektrum sudah terbukti efektif dalam diagnosis kerusakan. Tetapi, metode tersebut mengalami kesulitan jika diaplikasikan kedalam deteksi retak pada roda gigi. Hal ini dikarenakan metode spektrum didasarkan pada asumsi sinyal getaran yang bersifat stasioner dan periodik. Beban kerja dari *fan* berupa putaran *blade* membuat sinyal getaran menjadi tidak stasioner dan tidak periodik. *Continuous wavelet transform (CWT)* merupakan salah satu model analisis yang efektif digunakan untuk sinyal yang bersifat non-stasioner dan non-periodik [2]. Plot CWT dapat memberikan informasi nilai waktu dan frekuensi yang tidak dapat diberikan oleh analisis konvensional seperti pada analisis spektrum.

Metode analisis *CWT* berhasil digunakan Vernekar, *et all.* [3], dalam penelitiannya terhadap mesin Bajaj KB-100. Pada penelitian tersebut, digunakan dua jenis kondisi roda gigi yaitu kondisi normal dan kondidi cacat patah 1 mata gigi. Metode analisis yang digunakan adalah analisis spektrum dan *Continuous Wavelet Transform*. Pada analisis spektrum dapat diketahui adanya kenaikan amplitudo pada *Gear Mesh Frequency (GMF)* yang menandakan adanya kerusakan pada roda gigi tersebut, sedangkan identifikasi kerusakan roda gigi menggunakan analisis *Continuous Wavelet Transform (CWT)* yang ditampilkan pada grafik *spectrogram* menunjukkan adanya gradasi warna yang kuat yang terjadi pada *GMF* yang terjadi secara kontinyu dalam domain waktu.

Pribadi dkk. [4] menerapkan metode analisis spektrum kedalam benda uji roda gigi *pinion* dengan 4 variasi kondisi yaitu normal, cacat patah setengah gigi, cacat patah satu gigi, dan cacat berupa keausan. Analisis hasil spektrum menunjukkan pada kondisi normal *Gear Mesh Frequency (GMF)* terjadi pada frekuensi 253,5 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,003542 Volt. Pada kondisi roda gigi mengalami patah setengah gigi nilai *GMF* adalah 252,5 Hz dengan besar amplitudo 0,004867 Volt. Roda gigi kondisi patah satu gigi menunjukkan nilai *GMF* sebesar 235 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0056 Volt. Sedangkan pada roda gigi aus nilai *GMF* sebesar 251 Hz dengan amplitudo 0,0036 Volt. Dalam hal ini disimpulkan bahwa semakin parahnya kerusakan yang terjadi pada roda gigi menyebabkan meningkatnya nilai amplitudo yang terjadi pada *GMF*. Sedangkan untuk kondisi aus, kenaikan nilai amplitudo terhadap roda gigi kondisi normal tidak terlihat signifikan.

Widodo dkk. [5] melakukan penelitian getaran terhadap empat jenis roda gigi dengan metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)*. Keempat kondisi roda gigi tersebut meliputi roda gigi dengan kondisi normal, roda gigi dengan patah setengah gigi, roda gigi dengan patah satu gigi, dan roda gigi dalam kondisi aus. Plot yang ditampilkan pada analisis *CWT* berbentuk *scalogram* dengan perbandingan waktu dan skala. Sebelum dilakukannya analisis *CWT*, dilakukan proses *denoising signal* menggunakan *Time Synchronous Averaging (TSA)* untuk mereduksi *noise*. Pada *scalogram CWT* ditunjukkan semakin parahnya cacat pada roda gigi ditunjukkan dengan nilai skala yang meningkat. Pada kondisi aus tingkat kerusakan berdasarkan nilai skala berada diantara patah setengah gigi dengan patah satu gigi.

Hidayat & Santoso [6] melakukan penelitian deteksi cacat roda gigi menggunakan analisis sinyal emisi akustik. Tingkat kerusakan roda gigi yang diteliti adalah patah 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerusakan yang semakin besar dapat terdeteksi menggunakan *scalogram CWT*. Transformasi wavelet dengan morlet wavelet pada sinyal emisi akustik menghasilkan *scalogram* yang dapat digunakan untuk mengamati tingkat pada kerusakan roda gigi.

Hasil beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode analisis spektrum dan continuous wavelet transform (*CWT*) dapat diterapkan dalam identifikasi cacat pada pasangan roda gigi. Adanya beban kerja yang terjadi pada roda gigi membuat sinyal getaran menjadi tidak stasioner dan tidak periodik. Pada penelitian ini digunakan metode analisis *CWT* yang cocok untuk sinyal non-stasioner dan non-periodik dengan beban kerja berupa putaran *fan blade*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Frekuensi Pada Pasangan Roda Gigi

Metode analisis spektrum dan *CWT* membutuhkan perhitungan frekuensi yang terjadi pasangan roda giginya sebagai pembanding antara frekuensi teoritis dengan frekuensi eksperimental. Frekuensi yang terjadi pada pasangan roda gigi seperti yang dijelaskan oleh Fernandez [7] dan Winterton [8] diantaranya:

1. *Gear Rotational Frequency (fg)*

Frekuensi kecepatan putar *gear* yang dinyatakan dalam putaran per detik atau hertz (Hz).

$$fg = Rg/60 \quad (1)$$

Dengan : fg = frekuensi kecepatan putar *gear* (Hz)

Rg = *gear speed* (rpm)

2. *Pinion Rotational Frequency (fp)*

Frekuensi kecepatan putar *pinion* yang dinyatakan dalam putaran per detik atau hertz (Hz).

$$fp = Rp/60 \quad (2)$$

Dengan : f_g = frekuensi kecepatan putar *pinion* (Hz)
 R_p = *pinion speed* (rpm)

3. Gear Mesh Frequency (GMF)

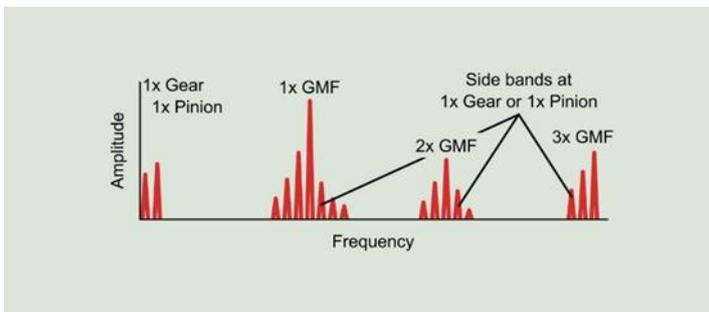
Frekuensi ini merupakan frekuensi pokok yang terjadi ketika roda gigi saling dikaitkan. Nilai *GMF* didapat dengan mengalikan jumlah gigi dengan kecepatan putar.

$$GMF = f_p \times N_p = f_g \times N_g \tag{3}$$

Dengan : GMF = Gear Mesh Frequency (Hz)
 f_p = Frekuensi kecepatan Putar *Pinion* (Hz)
 N_p = Jumlah Gigi *Pinion*
 f_g = Frekuensi kecepatan Putar *Gear* (Hz)
 N_g = Jumlah Gigi *Gear*

4. Gear mesh frequency sidebands

Frekuensi yang ada disekitar *GMF*. Jarak frekuensi sidebands terhadap *GMF* sama dengan frekuensi putar *pinion* atau *gear*. *Sidebands* sangat penting dalam diagnosis kerusakan yang ada pada pasangan roda gigi.



Gambar 1. *GMF* Sidebands [9]

5. Hunting Tooth Frequency (HTF)

Frekuensi yang terjadi ketika titik cacat pada *gear* bertemu dengan titik cacat pada roda gigi *pinion*. Frekuensi ini sangat rendah sehingga sulit ditemukan dalam spektrum, akan tetapi lebih mudah dideteksi dalam bentuk gelombang waktu.

$$HTF = (GMF \times N_a) / (N_p \times N_g) \tag{4}$$

Dengan : HTF = Hunting Tooth Frequency (Hz)
 GMF = Gear Mesh Frequency (Hz)
 N_a = Number of Phases assembly
 N_p = Jumlah Gigi *Pinion*
 N_g = Jumlah Gigi *Gear*

6. Gear Assembly Phase Frequency (GAPF)

Frekuensi yang terjadi pada pasangan roda gigi dengan jumlah kedua gigi tidak prima. *GAPF* dihasilkan dengan membagi nilai *GMF* terhadap nilai *phases assembly* (N_a). *Phases assembly* merupakan nilai kombinasi bilangan prima dari jumlah gigi gear dan pinion.

$$GAPF = GMF / N_a \tag{5}$$

Dengan : $GAPF$ = Gear Assembly Phase Frequency (Hz)
 GMF = Gear Mesh Frequency (Hz)
 N_a = Number of Phases assembly

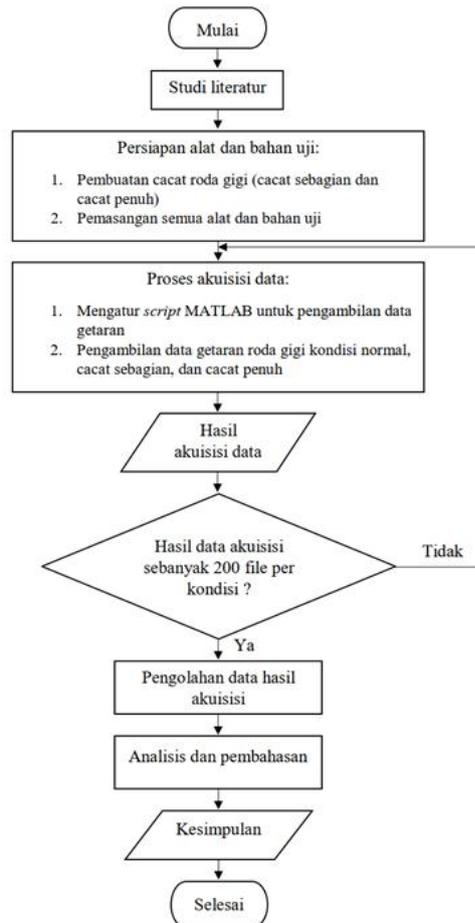
7. Gear Natural Frequency (GNF)

GNF merupakan frekuensi pribadi yang dimiliki roda gigi. Frekuensi ini dapat diketahui dengan cara memukul roda gigi dalam kondisi diam dan diidentifikasi frekuensi yang dihasilkan.

3. METODE, ALAT, DAN BAHAN

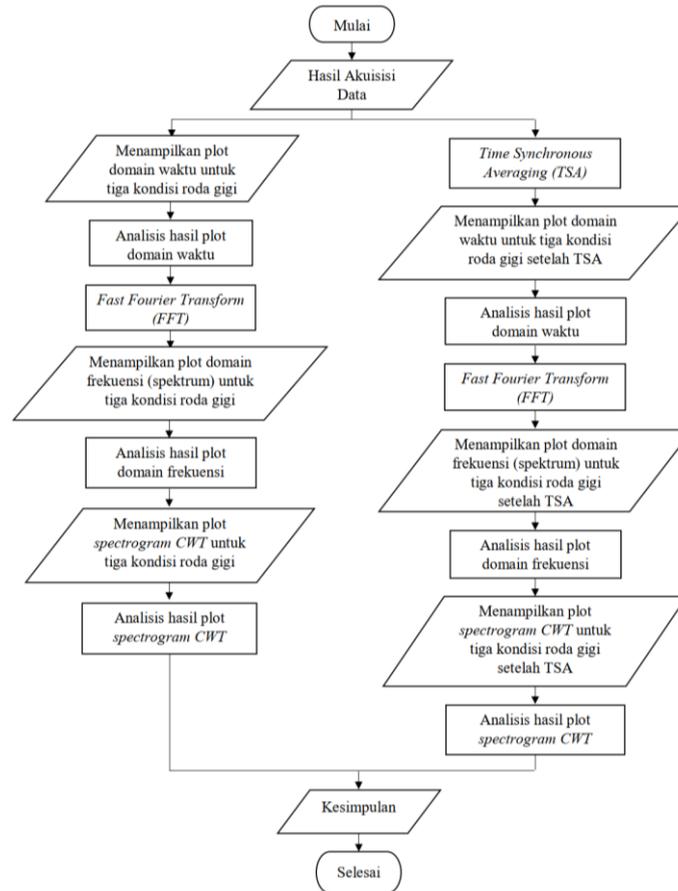
3.1. Metode Penelitian

Diagram alur pada Gambar 2 menunjukkan prosedur penelitian yang dilakukan. Persiapan alat dan bahan uji mencakup pembuatan cacat roda gigi menggunakan proses *EDM* (*Electrical Discharging Machine*) dan pemasangan sensor beserta modul data akuisisi kedalam alat uji. Pengambilan data dilakukan setiap 10 detik dengan sampling rate 17066 Hz. Pengambilan data berjumlah 200 file setiap kondisi roda gigi. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir adanya noise selama perekaman data getaran. Metode penelitian ditampilkan dalam diagram alur pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

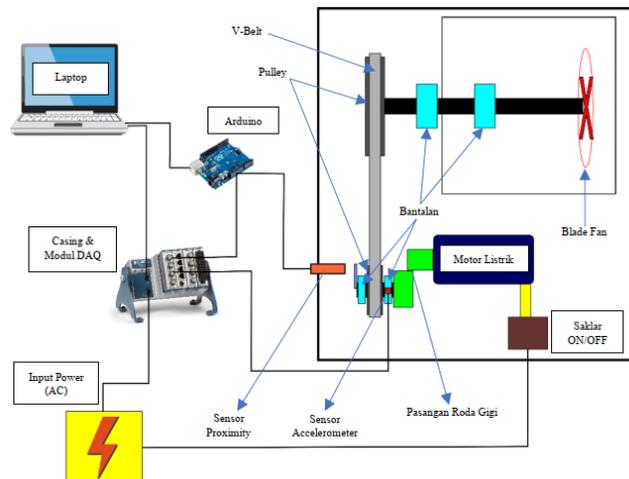
Setelah didapatkannya data penelitian, maka data tersebut akan masuk ke proses pengolahan data. Proses ini melibatkan software MATLAB untuk menghasilkan plot grafik domain waktu, plot grafik domain frekuensi (Spektrum), dan plot *spectrogram continuous wavelet transform (CWT)*. Gambar 3 merupakan diagram alur proses pengolahan data. Digunakan variasi perbandingan antara hasil tanpa *TSA* dan hasil dengan *TSA*.



Gambar 3. Diagram Alur Pengolahan Data

3.2. Alat Uji

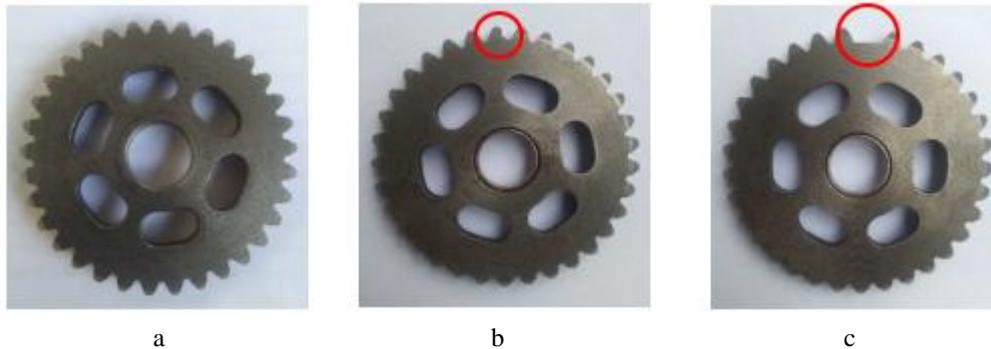
Skema alat uji ditampilkan pada Gambar 4. Ketika prototipe *fan* industri dioperasikan, laptop akan mengirim perintah melalui *script* MATLAB kepada Modul DAQ untuk melakukan perekaman data. Sensor accelerometer akan merekam data getaran dari *fan* sedangkan sensor proximity akan merekam kecepatan putar poros dari roda gigi yang diuji. Kedua data tersebut akan masuk dan diolah oleh Modul DAQ, kemudian data tersebut dikirimkan kembali pada laptop. Data yang diperoleh berupa output nilai tegangan.



Gambar 4. Skema alat uji

3.3. Bahan Uji

Bahan uji yang digunakan merupakan pasangan roda gigi tipe spur gear dengan cacat yang terjadi pada *gear*. Variasi kondisi roda gigi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bahan uji roda gigi. a. kondisi normal. b. kondisi cacat level 1 (pitting $\varnothing 1,5$ mm). c. kondisi cacat level 2 (satu mata gigi hilang).

Ketiga roda gigi (*gear*) tersebut dipasangkan dengan roda gigi (*pinion*) dengan kondisi normal secara bergantian. Jumlah mata gigi gear adalah 33 buah sedangkan pada *pinion* berjumlah 15 buah. Kecepatan putar gear diukur dengan digital tachometer sebesar 1357 rpm, sedangkan kecepatan putar pinion sebesar 2985 rpm.

4. HASIL DAN DISKUSI

Spesifikasi jumlah gigi dan kecepatan putar dari roda gigi dapat digunakan untuk mencari parameter frekuensi pasangan roda gigi. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.

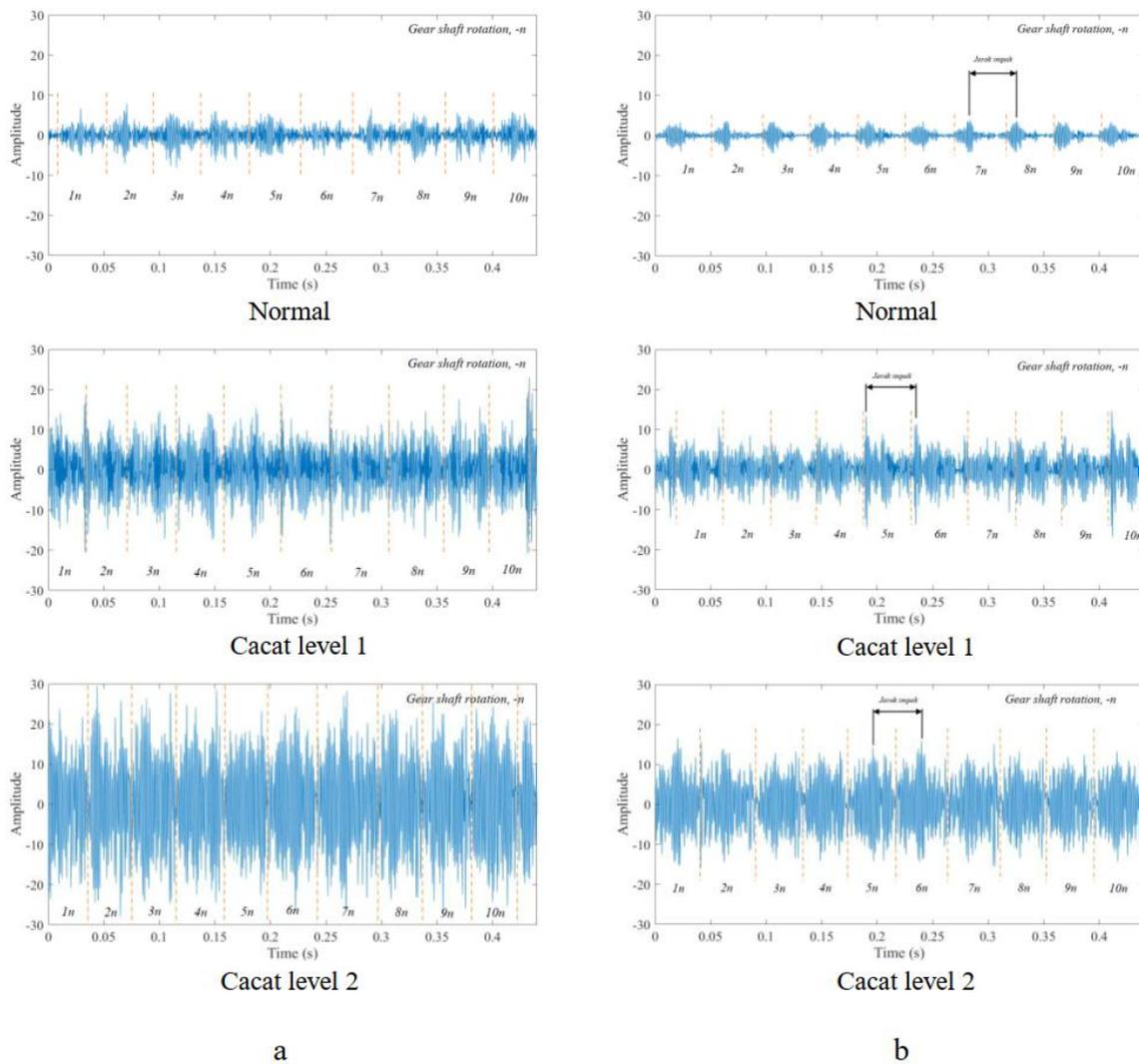
Tabel 1: Hasil perhitungan frekuensi pasangan roda gigi

Parameter	Hasil Perhitungan
Frekuensi Putar Poros <i>Gear</i> (f_g)	22,6 Hz
Frekuensi Putar Poros <i>Pinion</i> (f_p)	49,75 Hz
<i>Gear Mesh Frequency (GMF)</i>	746,35 Hz

4.1. Plot Domain Waktu

Data getaran yang berasal dari accelerometer kemudian diolah menggunakan software MATLAB. Plot domain waktu pada tiga kondisi roda gigi yang ditampilkan pada Gambar 6. Dilakukan perbandingan terhadap hasil yang diperoleh pada plot sebelum dan sesudah *TSA*.

Semakin meningkatnya level cacat ditunjukkan dengan semakin meningkatnya amplitudo impuls yang diakibatkan karena adanya impak gigi ketika roda gigi cacat bertautan. Proses *TSA* mereduksi sinyal-sinyal yang tidak sinkron terhadap frekuensi roda gigi. Hal ini berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Plot domain waktu setelah *TSA* diperlihatkan terjadinya penurunan amplitudo impuls. Jarak terjadinya setiap impak gigi dapat terlihat yaitu setiap 0,04 detik.



Gambar 6. Plot domain waktu. a. Sebelum *TSA*. b. Setelah *TSA*.

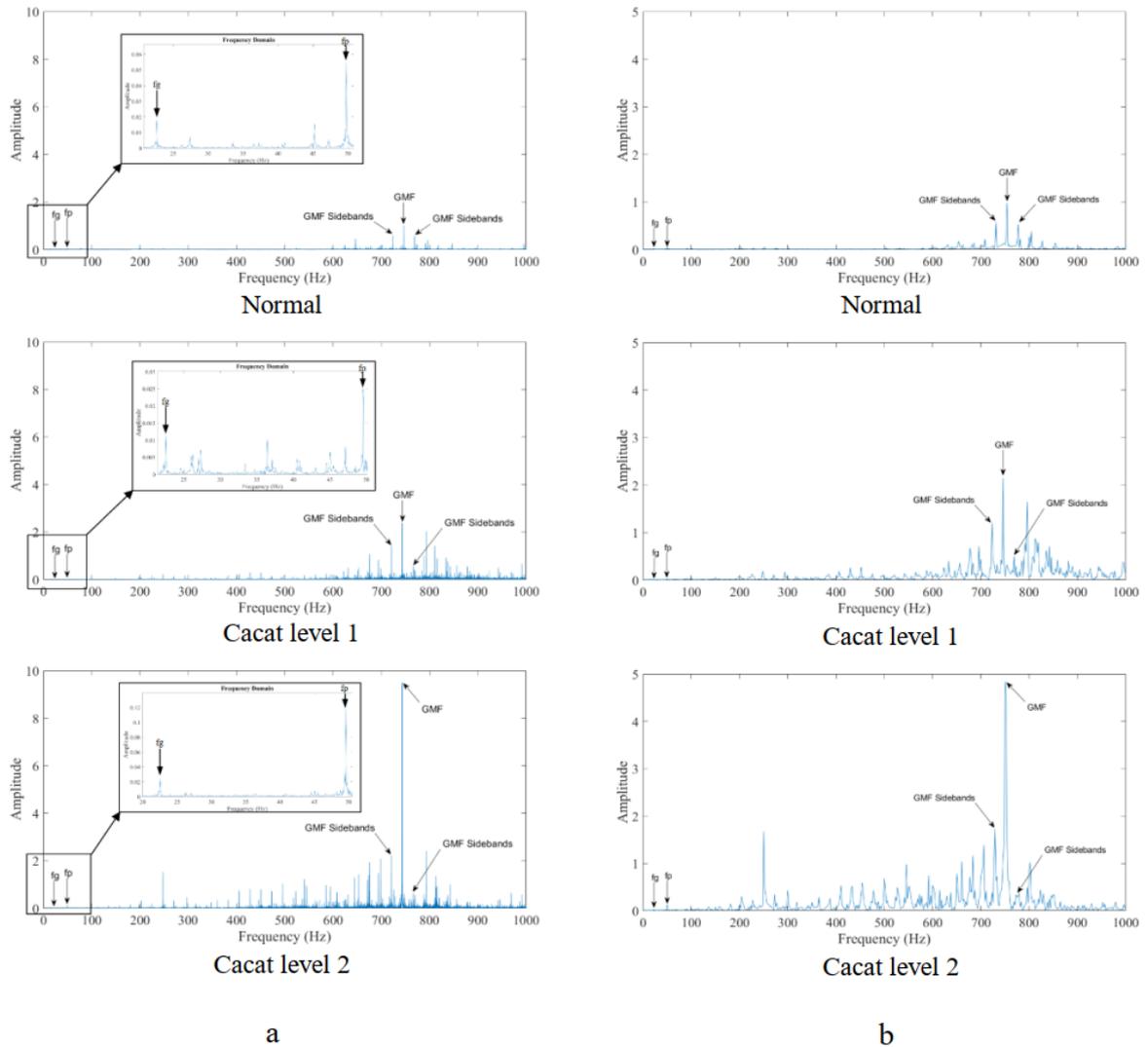
4.2. Plot Domain Frekuensi (spektrum)

Kurangnya informasi yang ditampilkan pada plot domain waktu, maka diperlukan plot domain frekuensi untuk mengetahui frekuensi apa saja yang muncul pada data getaran tersebut. Nilai frekuensi ini sangat dibutuhkan untuk mengidentifikasi ada-tidaknya kerusakan pada suatu komponen, termasuk pada roda gigi. Plot domain frekuensi untuk tiga kondisi roda gigi ditampilkan pada Gambar 7.

Untuk mempermudah pembacaan plot pada Gambar 7, maka hasil data dari nilai frekuensi beserta nilai amplitudonya ditampilkan pada Tabel 2. Pada kondisi cacat level 1, nilai amplitudo f_g dan f_p mengalami penurunan terhadap kondisi normal. Cacat *pitting* mengakibatkan penurunan nilai amplitudo f_g dan f_p [10]. Hal ini dimungkinkan karena berkurangnya kekakuan pada poros. Sedangkan pada kondisi cacat level 2, nilai amplitudo pada f_g dan f_p mengalami eskalasi terhadap kondisi normal dan cacat level 1.

Hasil plot spektrum sebelum *TSA* ditunjukkan nilai *GMF* kondisi normal muncul pada frekuensi 746,325 Hz dengan amplitudo sebesar 1,0233 mV. Pada kondisi cacat level 1, nilai *GMF* muncul pada frekuensi 743,5256 Hz dengan amplitudo sebesar 2,3511 mV. Sedangkan pada kondisi cacat level 2, nilai *GMF* muncul pada frekuensi 743,4605 Hz dengan amplitudo sebesar 9,4971 mV. Dari ketiga hasil yang diperoleh, nilai amplitudo pada *GMF* meningkat seiring bertambahnya level cacat. Hal ini sesuai dengan hal yang dikemukakan oleh Sirajudin [11]. *GMF* merupakan parameter yang baik digunakan untuk mendeteksi cacat pada roda gigi. Hasil plot spektrum setelah *TSA* juga ditunjukkan peningkatan nilai amplitudo *GMF* seiring meningkatnya level cacat.

Pada kondisi sebelum *TSA*, amplitudo *GMF* sidebands mengalami peningkatan baik pada sisi kiri maupun sisi kanan seiring bertambahnya level cacat. Sedangkan pada kondisi setelah *TSA*, hasil amplitudo *GMF* sidebands berfluktuatif. Hasil amplitudo *GMF* sidebands pada sisi kiri mengalami eskalasi, akan tetapi pada sisi kanan mengalami penurunan seiring meningkatnya level cacat. Hal ini menunjukkan proses *TSA* kurang efektif digunakan untuk analisis spektrum.



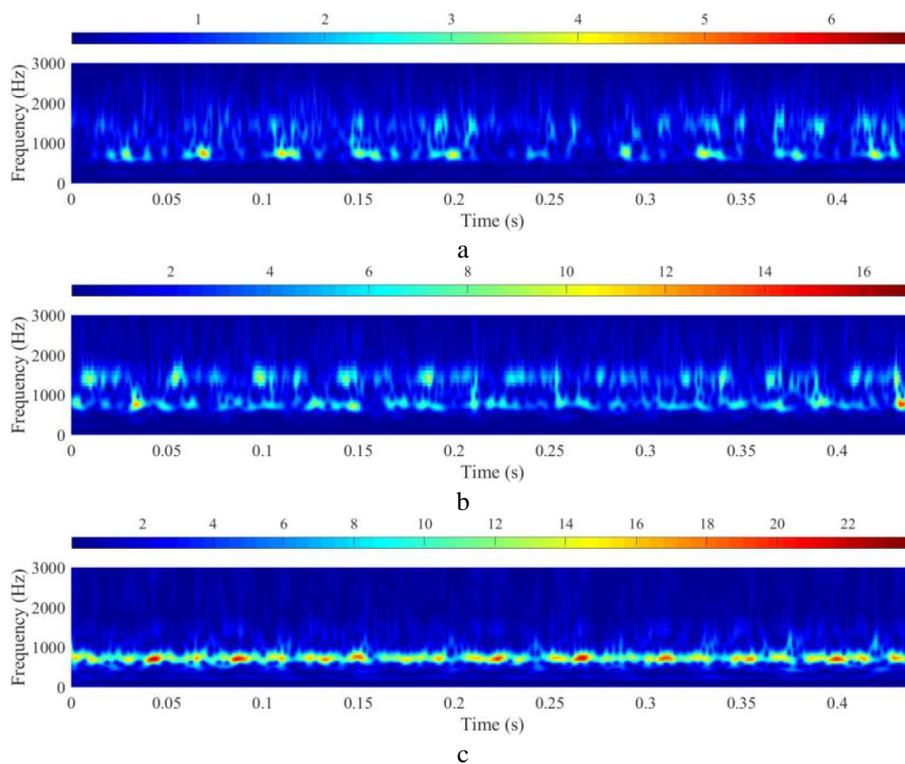
Gambar 7. Plot domain frekuensi (spektrum). a. Sebelum *TSA*. b. Setelah *TSA*

Tabel 2: Nilai frekuensi tiga kondisi roda gigi. a. Sebelum *TSA*. b. Setelah *TSA*

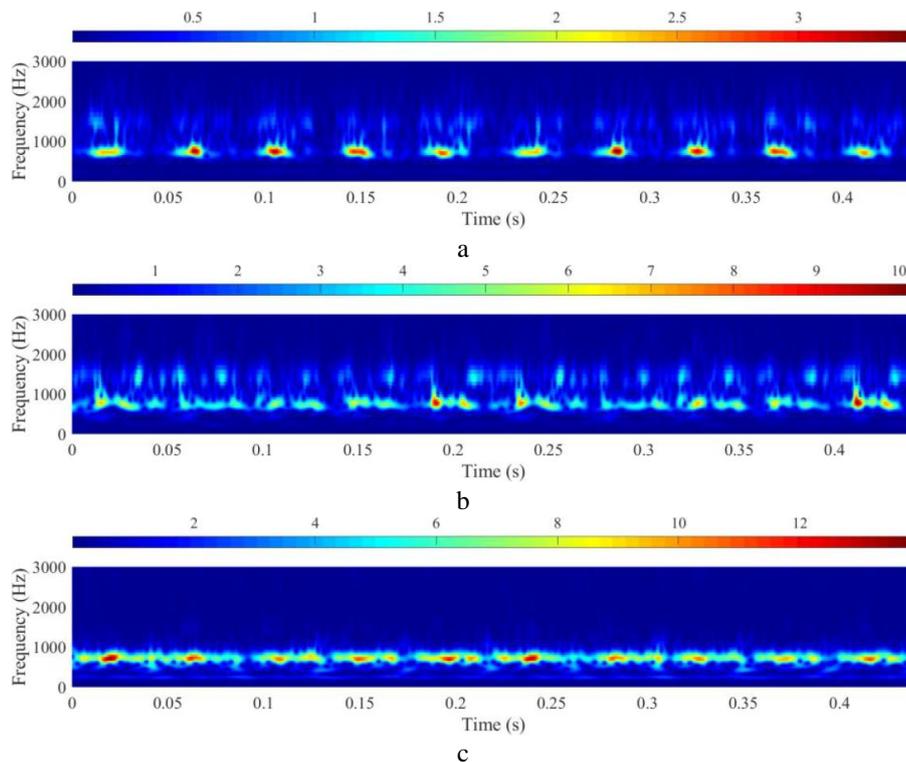
a						b					
Normal						Normal					
Frekuensi (Hz)	fg	Fp	GMF	GMF Sidebands		Frekuensi (Hz)	fg	fp	GMF	GMF Sidebands	
	22,5903	49,7376	746,325	723,7347	768,9804		22,9158	49,998	754,1372	731,2214	777,053
Amplitudo (mV)	0,018	0,055	1,0233	0,5936	0,5674	Amplitudo (mV)	0,0206	0,0564	0,9817	0,5796	0,5334
Cacat Level 1						Cacat Level 1					
Frekuensi (Hz)	fg	Fp	GMF	GMF Sidebands		Frekuensi (Hz)	fg	fp	GMF	GMF Sidebands	
	22,5252	49,5423	743,5256	721,0005	766,0508		22,9158	49,998	745,8042	722,8884	768,72
Amplitudo (mV)	0,0114	0,0255	2,3511	1,4115	0,594	Amplitudo (mV)	0,0084	0,0301	2,1471	1,2001	0,5040
Cacat Level 2						Cacat Level 2					
Frekuensi (Hz)	fg	Fp	GMF	GMF Sidebands		Frekuensi (Hz)	fg	fp	GMF	GMF Sidebands	
	22,5252	49,5423	743,4605	720,9354	765,9857		22,9158	49,998	749,9707	729,1382	772,8865
Amplitudo (mV)	0,0252	0,119	9,4971	2,2173	0,6288	Amplitudo (mV)	0,0248	0,1277	4,843	1,7348	0,33711

4.3. Plot Spectrogram *CWT*

Pada plot domain waktu dihasilkan sebuah grafik dengan perbandingan antara waktu dan amplitudo. Kelemahannya, identifikasi frekuensi pada plot domain waktu sulit untuk diketahui karena jarak impact setiap putaran roda gigi sulit untuk diidentifikasi. Sedangkan pada plot domain frekuensi dihasilkan sebuah grafik dengan perbandingan antara amplitudo dan frekuensi tanpa diketahui kapan frekuensi itu terjadi. Plot spectrogram *CWT* dapat mengatasi kelemahan dari kedua metode sebelumnya. Plot tersebut dapat menampilkan nilai frekuensi yang terjadi selama waktu tertentu dan besar amplitudo yang terjadi. Plot spectrogram *CWT* untuk tiga variasi roda gigi ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Plot Spectrogram *CWT* sebelum *TSA*. a. Kondisi normal. b. Kondisi cacat level 1. c. Kondisi cacat level 2



Gambar 9. Plot Spectrogram *CWT* setelah *TSA*. a. Kondisi normal. b. Kondisi cacat level 1. c. Kondisi cacat level 2

Plot yang ditampilkan pada Gambar 8 dan Gambar 9 merupakan hasil *CWT* yang dibatasi pada 10 kali putaran poros *gear*. *Colorbar* yang ditunjukkan pada plot *CWT* merupakan tingkatan nilai amplitudo getaran. Tingginya nilai amplitudo getaran, diilustrasikan dengan *colorbar* yang menuju ke warna merah.

Pada plot *CWT* sebelum *TSA*, nilai amplitudo tertinggi kondisi normal terlihat pada angka 6,6 mV. Terdapat gradasi warna yang memusat pada frekuensi 752,2 Hz dengan nilai amplitudo 5 mV yang identik dengan nilai dari *GMF*. Frekuensi ini terlihat setiap 0,044 detik. Hal ini menunjukkan bahwa *GMF* muncul setiap satu kali putaran poros gear. Pada frekuensi disekitar 1504 Hz juga muncul gradasi warna yang menunjukkan angka 2,5 milivolt. Munculnya gradasi warna ini dimungkinkan adalah $2 \times GMF$.

Pada kondisi roda gigi cacat level 1, nilai amplitudo tertinggi terlihat pada 17 mV. Terdapat gradasi warna yang muncul pada frekuensi 752,2 Hz dengan nilai amplitudo 13,5 milivolt yang menunjukkan nilai *GMF*, akan tetapi kapan *GMF* itu terjadi masih sulit untuk diidentifikasi karena titik gradasi warna yang masih menyebar. Pada plot tersebut juga terdapat frekuensi lain yang muncul disekitar angka 1504 Hz dengan nilai amplitudo 10 mV. Frekuensi ini identik dengan $2 \times GMF$.

Pada kondisi roda gigi cacat level 2, nilai amplitudo tertinggi terlihat pada 24 mV. Hal ini menunjukkan bahwa semakin parahnya cacat maka akan berakibat meningkatnya nilai amplitudo yang ditunjukkan pada nilai *colorbar* yang semakin bertambah. Pada plot spectrogram kondisi cacat level 2, nilai *GMF* muncul pada frekuensi 752,2 Hz akan tetapi waktu kapan terjadinya *GMF* masih sulit untuk diidentifikasi. Merangkum dari tiga hasil tersebut, letak *GMF* pada spectrogram dapat terlihat, akan tetapi dikarenakan gradasi warna yang menunjukkan nilai *GMF* masih belum terpusat pada satu titik, maka identifikasi terhadap waktu terjadinya *GMF* masih sulit untuk dilakukan.

Gambar 9 merupakan plot *CWT* setelah dilakukannya *TSA*. Pada plot kondisi normal, terdapat gradasi warna yang memusat pada frekuensi 752,2 Hz dengan nilai amplitudo 3,5 mV yang identik dengan munculnya *GMF*. Gradasi warna ini muncul setiap 0,044 detik. Hal ini berkorelasi dengan hasil plot domain waktu setelah *TSA* yang menunjukkan *GMF* muncul pada setiap putaran poros gear. Pada plot spectrogram *CWT* kondisi normal setelah *TSA*, gradasi warna pada frekuensi 1504 Hz yang sebelumnya terlihat pada plot spec-

rogram *CWT* sebelum *TSA* sudah tidak begitu terlihat.

Pada kondisi roda gigi cacat level 1 setelah *TSA*, terdapat gradasi warna yang menunjukkan munculnya *GMF* pada frekuensi 752,2 Hz. Nilai amplitudo tertinggi terlihat pada 9 mV. Angka ini naik 2,5 kali terhadap kondisi normal setelah *TSA*. Gradasi warna ini juga muncul setiap 0,044 detik. Pada plot setelah *TSA* kondisi cacat level 1, masih terdapat frekuensi lain yang muncul disekitar angka 1504 Hz yang diidentikan dengan $2 \times GMF$.

Pada kondisi roda gigi cacat level 2 setelah *TSA*, terdapat gradasi warna yang menunjukkan munculnya *GMF* pada frekuensi 752,2 Hz. Nilai amplitudo tertinggi terlihat pada 14 mV. Angka ini naik 4 kali terhadap kondisi normal dan 1,5 kali terhadap kondisi cacat level 1 setelah *TSA*. Gradasi warna ini juga muncul setiap 0,044 detik. Gradasi warna yang muncul pada frekuensi 1504 Hz di kondisi normal dan cacat level 1 tidak muncul pada plot *CWT* kondisi cacat level 2.

Berdasarkan plot spectrogram tersebut, semakin meningkatnya level cacat mengakibatkan semakin tingginya nilai amplitudo serta jarak penyebaran data amplitudo tinggi yang semakin meningkat. Meningkatnya penyebaran data amplitudo tinggi ini diakibatkan karena naiknya nilai amplitudo pada *GMF* sidebands.

5. KESIMPULAN

Metode analisis spektrum dan *CWT* dapat diterapkan pada identifikasi cacat roda gigi *fan* industry. Metode analisis *CWT* lebih baik digunakan pada identifikasi cacat roda gigi dengan beban kerja dari putaran *fan*. Informasi mengenai nilai frekuensi, amplitudo, dan waktu dapat ditampilkan pada plot spectrogram *CWT*. Proses *TSA* kurang cocok diterapkan pada analisis spektrum, akan tetapi sangat cocok diterapkan pada analisis *CWT*. Semakin meningkatnya level cacat pada roda gigi, ditunjukkan dengan peningkatan nilai amplitudo *GMF* pada spektrum dan spectrogram *CWT*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] RIF'AN, A. WIDODO, D. SATRIJO, "Deteksi Kerusakan Roda Gigi dengan Analisis Sinyal Getaran Berbasis Domain Waktu", *Jurnal Teknik Mesin S-1*, v. 2, n. 3, 2014.
- [2] ZHENG, H., Z. LI, & X. CHEN, "Gear Fault Diagnosis Based on Continuous Wavelet Transform", *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 16, n. 2-3, pp 447-457, 2002.
- [3] VERNEKAR, K., H. KUMAR, K.V. GANGADHARAN, "Gear Fault Detection Using Vibration Analysis and Continuous Wavelet Transform", *Procedia Materials Science*. 5: 1846-1852, 2014.
- [4] PRIBADI, G., A. WIDODO, D. SATRIJO, "Deteksi Kerusakan Roda Gigi dengan Analisis Sinyal Getaran Berbasis Domain Frekuensi", *Jurnal Teknik Mesin S-1*, v. 2, n. 3, 2014.
- [5] WIDODO, A., D. SATRIJO, T. PRAHASTO, "Deteksi Kerusakan Roda Gigi dengan Analisis Sinyal Getaran", *Rotasi*, v. 17, n. 2, pp 67-75, 2015.
- [6] HIDAYAT, R.L.L.G. & B. SANTOSO, "Gear Fault Detection Using Wavelet Transformation Method/Morlet Wavelet", *Prosiding SNTTM XVI*:32-38, 2017.
- [7] FERNANDEZ, A., Frequencies of a Gear Assembly, <https://power-mi.com/content/frequencies-gear-assembly>. Diakses: Agustus 2019.
- [8] WINTERTON, J.G, "Component Identification of Gear-Generated Spectra", *Orbit*, 1991.
- [9] FERNANDEZ, A., Troubleshooting of gears, <https://power-mi.com/content/troubleshooting-gears>. Diakses: Agustus 2019.
- [10] JAISWAL, A., K.S. ZAKIUDDIN, V.V. SHUKLA, "Fault diagnosis of gear by vibration analysis", *ISSN: 2278-621X*, v. 3, 2013.
- [11] SIRAJUDDIN, A.S, "Analisis Eksperimental Ciri Kerusakan Roda Gigi Lurus Berbasis Spektrum Getaran". *Jurnal SMARTek*, v. 8, n. 3, pp 215-223, 2010.