

## DETEKSI KERUSAKAN RODA GIGI DENGAN ANALISIS SINYAL GETARAN BERBASIS DOMAIN FREKUENSI

\*Gigih Pribadi<sup>1</sup>, Achmad Widodo<sup>2</sup>, Djoeli Satrijo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [gigihpribadi28@gmail.com](mailto:gigihpribadi28@gmail.com)

### Abstrak

Roda gigi adalah salah satu komponen mesin yang banyak digunakan dalam sistem transmisi daya. Roda gigi meneruskan daya dari motor melalui mekanisme kontak antar gigi-gigi pada *gear* dengan gigi-gigi pada *pinion*. Dengan mekanisme ini, diharapkan tidak terjadi slip selama proses transmisi daya berlangsung. Walaupun demikian, kerusakan tetap dapat terjadi pada roda gigi yang telah dipakai dalam jangka waktu tertentu. Deteksi dini dari kerusakan roda gigi sangat diperlukan karena dapat mengurangi kerugian dalam hal waktu dan uang. Untuk deteksi dini kerusakan, kita dapat menganalisa sinyal getaran dari roda gigi. Dari masalah inilah penelitian tentang roda gigi dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sinyal spectrum getaran dan sinyal cepstrum getaran yang sesuai dengan jenis kerusakan pada roda gigi secara eksperimen. Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tes rig roda gigi. Tes rig ini menggunakan roda gigi lurus dengan rasio 1:2 dan 4 variasi kerusakan pada roda gigi *pinion*. Kondisi roda gigi 1 normal, roda gigi 2 aus, roda gigi 3 patah setengah gigi dan roda gigi 4 patah satu gigi. Data sinyal getaran diambil pada kondisi putaran poros di kecepatan 1000 rpm (16,7 Hz). Hasil penelitian menunjukkan bahwa di putaran 16,7 Hz, diperoleh amplitudo GMF pada sinyal FFT untuk roda gigi 1 = 0,003542 V, roda gigi 2 = 0,0036 V, roda gigi 3 = 0,004867 V, dan roda gigi 4 = 0,0056 V. Hasil penelitian dengan sinyal cepstrum juga menunjukkan perbedaan ketinggian amplitudo pada putaran awal poros dimana untuk roda gigi 1 = 0,1142 V, roda gigi 2 = 0,1839 V, roda gigi 3 = 0,2221 V, dan roda gigi 4 = 0,2435 V. Perbedaan pada ketinggian amplitudo ini menunjukkan bahwa telah terjadi kerusakan pada roda gigi sesuai dengan tingkat kerusakannya.

**Kata kunci:** diagnosa kerusakan roda gigi, getaran, cepstrum getaran, roda gigi, spectrum getaran.

### Abstract

*Gears is one of the components of the engine that is widely used in power transmission systems. The gears continue power from motor by the mechanisms of contact between teeth on gear with teeth on pinion. With this mechanism, the slip is not expected to occur during the process transmitting power takes place. Nevertheless, the damage can still occur on the gears that have been used within a certain period. Early detection of gear damage is very necessary because it can reduce the losses in terms of time and money. For early detection of damage, we can analyze vibration signals of the gears. From this problem, research about gear is done. This research aims to analyze vibration characteristics of the signal spectrum and signal cepstrum vibration corresponding to the type of damage to the gears experimentally. The method of this research is carried out using a test rig gear. Test rig uses a straight gears with a ratio of 1: 2 and 4 variations of the damage on the pinion gear. Conditions gears 1 normal, gears 2 worn, broken gears 3 and a half teeth, and gear 4 is broken one tooth. Vibration signal data is taken on the conditions at the shaft rotation speed of 1000 rpm (16.7 Hz). The results showed that in rounds of 16.7 Hz, amplitude of GMF at the FFT signal to gear 1 = 0, 003542 V, gear 2 = 0, 0036 V, gear 3 = 0, 004867 V, and gear 4 = 0, 0056 V. The results of research with cepstrum signal also shows a difference in height amplitude on the initial round of the shaft where to gear 1 = 0,1142 V, gears 2 = 0,1839 V, gears 3 = 0,2221 V, and gear 4 = 0,2435 V. The differences in the height of amplitude this shows that there has been damage to the gears in accordance with the level of damage.*

**Keyword:** diagnosis of gear damage, gears, power cepstrum, power spectrum, vibration.

## 1. Pendahuluan

Roda gigi adalah salah satu komponen mesin yang banyak digunakan dalam sistem transmisi daya. Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Roda gigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya [1].

Roda gigi juga merupakan komponen pengubah tingkat putaran poros pada mesin yang dapat mengurangi dan menaikkan kecepatan tergantung pada pengaturan gigi. Roda gigi meneruskan daya dari motor melalui mekanisme kontak antar gigi-gigi pada *gear* dengan gigi-gigi pada *pinion*. Dengan mekanisme ini, diharapkan tidak terjadi slip selama proses transmisi daya berlangsung [4].

Sistem transmisi daya yang menggunakan roda gigi telah banyak digunakan pada berbagai jenis penggerak. Kelebihan dari sistem transmisi roda gigi adalah sebagai berikut:

- Sistem transmisinya lebih ringkas dan kapasitas daya yang dapat diteruskan relatif besar.
- Sistem yang kompak sehingga konstruksinya sederhana dan butuh ruang yang kecil.
- Faktor terjadinya slip sangat kecil sehingga efisiensi pemindahan dayanya tinggi.
- Keandalannya cukup tinggi, artinya umur pakai cukup lama.
- Perawatannya mudah [3].

Walaupun demikian, kerusakan atau cacat roda gigi tetap dapat terjadi pada roda gigi yang telah dipakai dalam jangka waktu tertentu. Setiap kerusakan kecil pada roda gigi tersebut menyebabkan kegagalan yang tak terduga pada mesin dan akan menyebabkan kerugian yang signifikan dalam hal waktu dan uang. Banyak penelitian dilakukan untuk mendeteksi kerusakan pada roda gigi dengan menggunakan sinyal getaran, karena sinyal getaran yang berasal dari roda gigi tidak mudah untuk diartikan. Seperti pada helikopter, untuk masalah keamanan helikopter deteksi dini tentang kesalahan pada roda gigi sangat penting dilakukan untuk mencegah rusaknya sistem dan kecelakaan. Deteksi dini dari kerusakan roda gigi dapat mengurangi kerugian tersebut. Salah satu cara mendeteksi dini kerusakan adalah dengan menganalisa sinyal getaran yang dihasilkan dari roda gigi [2].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendeteksi kerusakan roda gigi dengan menggunakan sinyal getaran. Peneliti ingin mengetahui fenomena sinyal getaran yang terjadi pada roda gigi terutama sinyal getaran pada domain frekuensi.

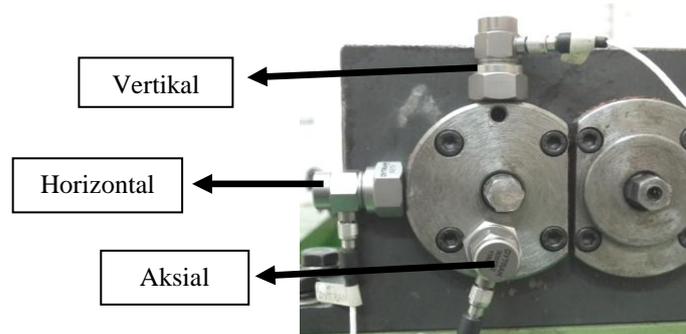
## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Pengujian sinyal getaran dilakukan dengan menggunakan alat tes rig roda gigi yang mampu melakukan eksperimen untuk mesin rotasi seperti roda gigi. Sinyal getaran yang diterima oleh sensor *accelerometer* selanjutnya akan diolah dengan *software Vibra Quest* untuk menampilkan dan menganalisa sinyal getaran domain frekuensi. Alat tes rig roda gigi dan instalasi pengujian ditampilkan pada Gambar 1 dibawah ini :



**Gambar 1.** Instalasi eksperimen pada tes rig roda gigi

Pada pengujian tes rig roda gigi ini digunakan sensor *accelerometer* untuk mendeteksi getaran dari roda gigi. Ada empat data masukan yang terdiri dari 1 sensor *tachometer* yang berfungsi untuk merekam kecepatan putar poros dan 3 sensor *accelerometer* yang berfungsi untuk merekam data sinyal getaran dari variasi kerusakan roda gigi. Sensor *accelerometer* ini dipasang pada 3 posisi yang berbeda, 2 sensor pada arah radial yang tegak lurus poros masukan dan 1 sensor pada arah aksial yang sejajar dengan poros masukan (Gambar 2).



**Gambar 2.** Posisi sensor getaran pada perangkat uji

Pada pengujian sinyal getaran yang dilakukan, proses pengambilan sinyal getaran akan divariasikan menurut kondisi kerusakan roda gigi. Ada 4 kondisi roda gigi antara lain kondisi normal, aus, patah setengah gigi, dan patah satu gigi. Rasio kecepatan putar antara *gear* dengan *pinion* adalah 1:2. *Gear* dengan jumlah gigi sebanyak 30 gigi dan *pinion* dengan 15 gigi.



**Gambar 3.** Variasi kondisi kerusakan roda gigi

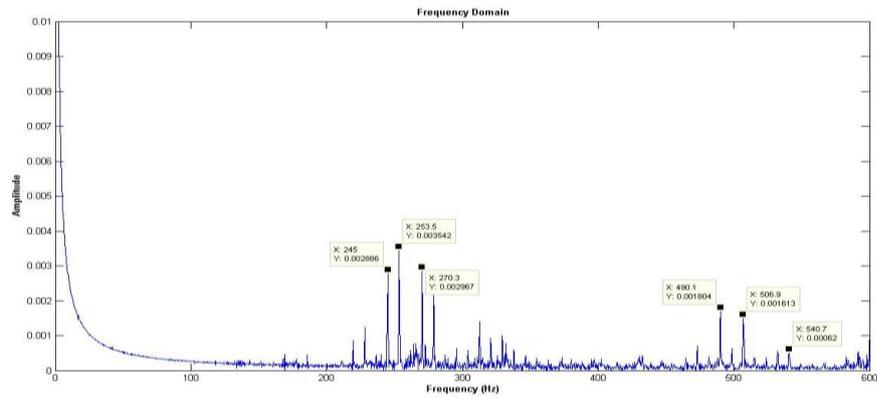
Kondisi yang diambil pada saat melakukan pengujian adalah dengan memvariasikan benda uji roda gigi. Roda gigi normal adalah benda uji pertama yang di uji, kemudian roda gigi aus, roda gigi patah setengah gigi dan terakhir patah satu gigi. Motor diputar dengan kecepatan 500 rpm dan kemudian akan menghasilkan output sebesar 1000 rpm. Setiap benda uji diambil sampai 10 kali pengambilan data.

### 3. Hasil dan Pembahasan

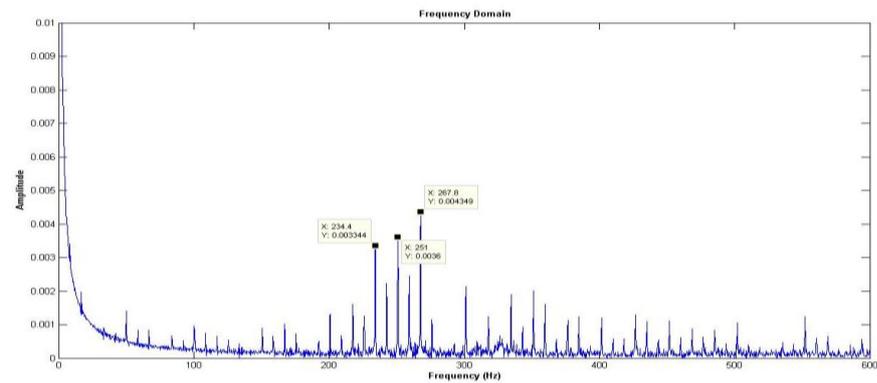
Pengujian getaran ini dilakukan pada tiga titik dan dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali. Alasannya agar pengaruh sinyal pengganggu (*noise*) dapat dikurangi, sehingga diharapkan sinyal getarannya pun bagus. Data hasil pengujian selanjutnya akan diproses dengan menggunakan *software* bantu MATLAB 2008b versi 7.7.0. Pemrosesan data hasil pengujian dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh sinyal FFT dan sinyal cepstrum getaran.

#### 3.1 Analisa FFT

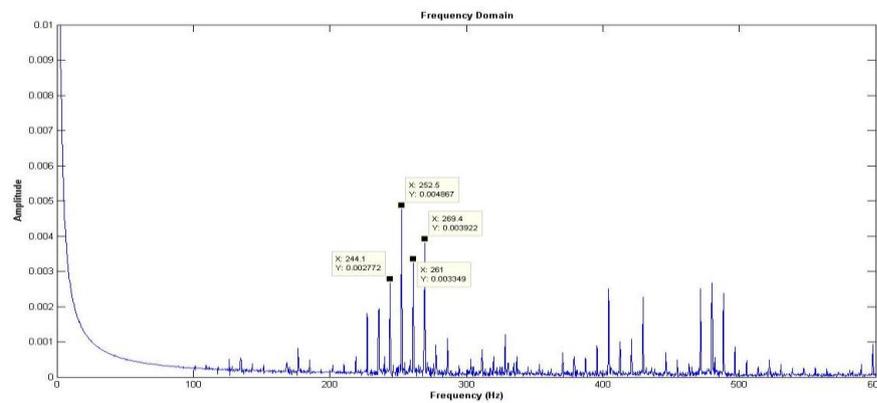
Sinyal getaran pada kondisi roda gigi normal spektrum getarannya menunjukkan 1 kali dan 2 kali RPM di sepanjang *Gear Mesh Frequency* (GMF). GMF pada kondisi roda gigi normal terlihat berada pada frekuensi 253,5 Hz dengan amplitudo sebesar 0,003542 Volt (Gambar 4). GMF tersebut pada umumnya akan memiliki *side band* yang relatif terhadap kecepatan poros *gear*. Semua puncak pada spektrum getaran di kondisi gigi normal berada pada amplitudo rendah dan tidak ditemukan adanya *Gear Natural Frequency* (GNF).



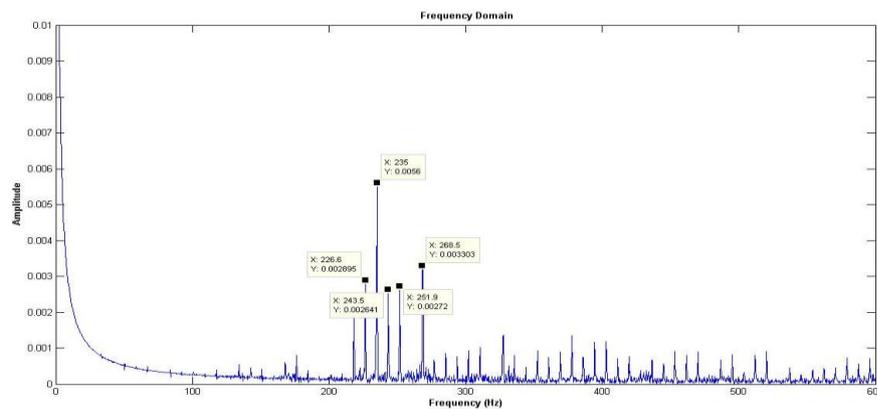
Gambar 4. Sinyal FFT pada kondisi normal



Gambar 5. Sinyal FFT pada kondisi aus



Gambar 6. Sinyal FFT pada kondisi patah setengah gigi



Gambar 7. Sinyal FFT pada kondisi patah satu gigi

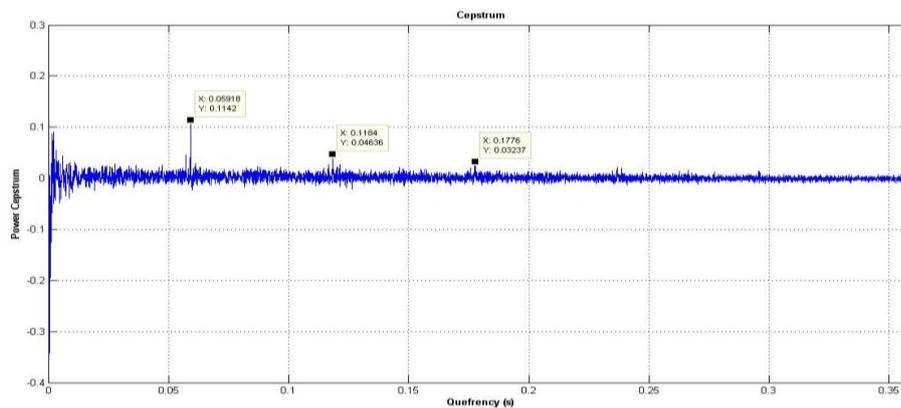
Pada kondisi roda gigi yang mengalami keausan memiliki spektrum getaran yang berbeda. Pada kondisi aus, GMF terlihat pada frekuensi 251 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0036 Volt (Gambar 5). Di sekitar GMF terlihat juga adanya frekuensi *side band yang muncul* dengan frekuensi yang tinggi. Amplitudo kontak gigi dapat mengalami perubahan ataupun tidak, tetapi munculnya *side band* dengan frekuensi yang tinggi di sekitar frekuensi kontak gigi biasanya terjadi ketika roda gigi mengalami keausan dan dapat menjadi indikator dari keausan pada roda gigi. *Side band* bisa menjadi indikator keausan yang baik daripada GMF itu sendiri.

Pada kondisi roda gigi yang mengalami patah setengah gigi memiliki spektrum getaran yang hampir sama dengan kondisi aus dimana GMF dan frekuensi *side band* muncul dengan amplitudo yang tinggi. Pada kondisi patah setengah gigi, GMF terlihat pada frekuensi 252,5 Hz dengan amplitudo sebesar 0,004867 Volt (Gambar 6). Jika dibandingkan dengan kondisi roda gigi normal, terjadi peningkatan amplitudo pada frekuensi kontak gigi di sinyal FFT. Peningkatan amplitudo tersebut mengindikasikan terjadinya *crack* pada roda gigi, dalam penelitian ini adalah roda gigi yang divariasikan dengan patah setengah gigi.

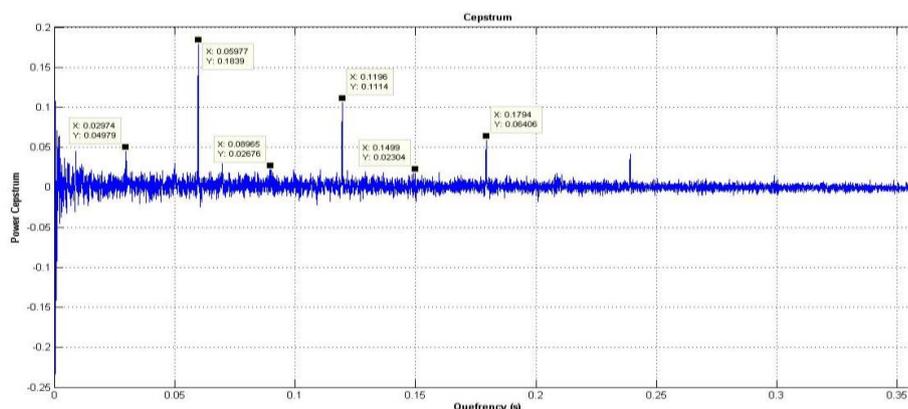
Pada kondisi roda gigi yang mengalami patah 1 gigi memiliki spektrum getaran yang hampir sama dengan kondisi patah setengah gigi. Tetapi pada kondisi patah 1 gigi, GMF terlihat pada frekuensi 235 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0056 Volt (Gambar 7). Terjadi perubahan GMF dari yang sebelumnya berada disekitar frekuensi 250 Hz menjadi disekitar frekuensi 133 Hz. Hal ini terjadi karena adanya patah 1 gigi pada roda gigi tersebut. Perubahan nilai GMF ini dapat mengindikasikan bahwa terjadi *crack* pada roda gigi.

### 3.2 Analisa Cepstrum

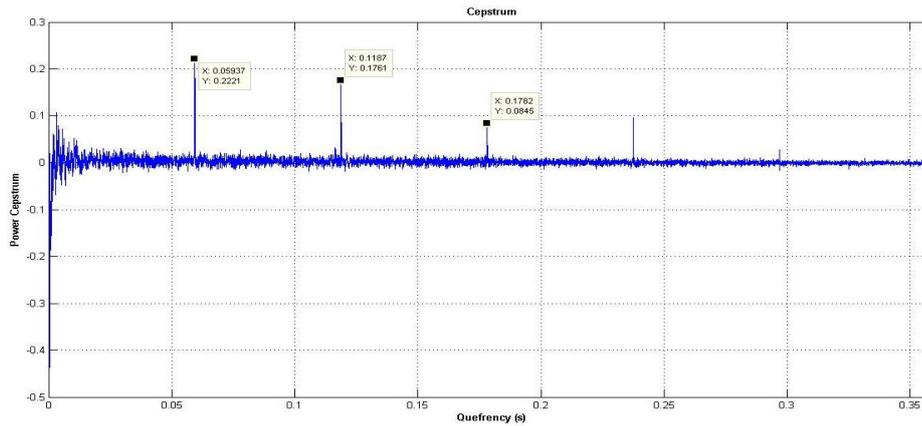
Pada pengolahan data sinyal cepstrum, yang ditampilkan adalah sinyal dari putaran poros. Gambar 8 menunjukkan putaran poros beserta rahmoniknya pada kondisi roda gigi normal. Pada gambar ditunjukkan bahwa pada 1 kali putaran poros waktu yang ditempuh adalah 0,05918 detik dengan besar amplitudo 0,1142 Volt. Tidak ada sinyal *side band* pada sinyal cepstrum kondisi roda gigi normal.



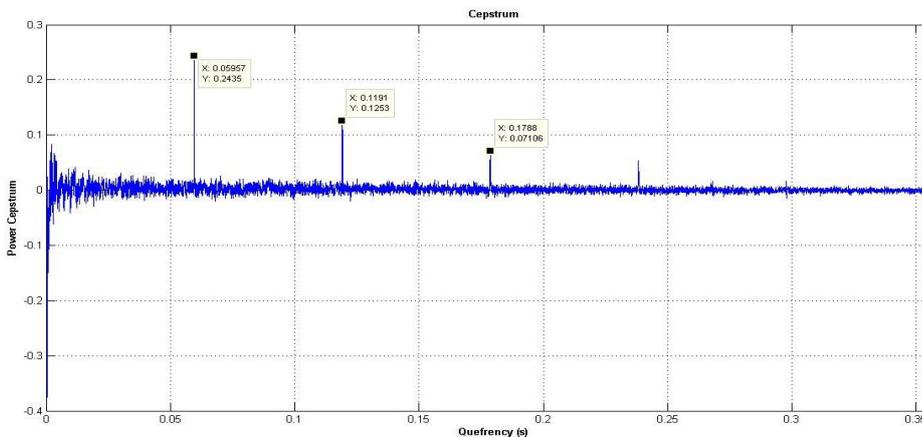
Gambar 8. Sinyal cepstrum pada kondisi normal



Gambar 9. Sinyal cepstrum pada kondisi aus



Gambar 10. Sinyal cepstrum pada kondisi patah setengah gigi

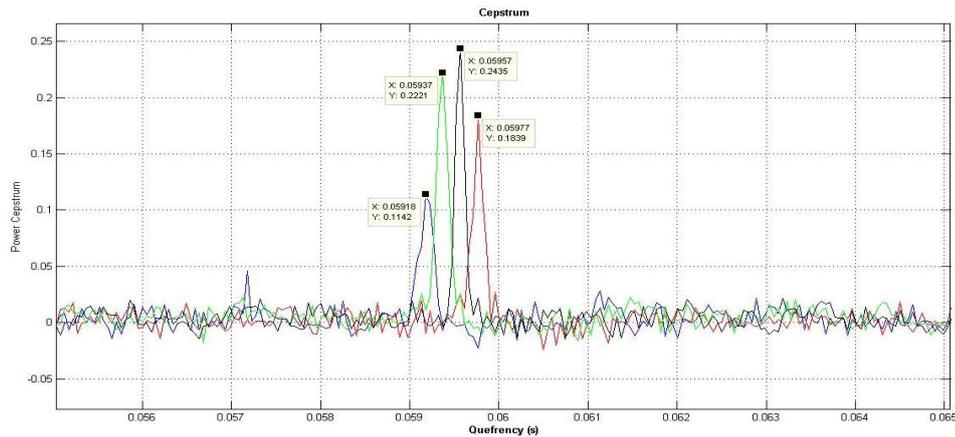


Gambar 11. Sinyal cepstrum pada kondisi patah satu gigi

Putaran poros pada kondisi roda gigi aus beserta rahmoniknya ditunjukkan pada Gambar 9. Pada gambar ditunjukkan bahwa pada 1 kali putaran poros waktu yang ditempuh adalah 0,05977 detik dengan besar amplitudo 0,1839 Volt. Jika diperhatikan pada sinyal cepstrum kondisi roda gigi aus, terlihat adanya sinyal *side band* yang muncul. Sinyal *side band* beserta rahmoniknya muncul pada quefrecny 0,02974 detik dengan amplitudo 0,4979 Volt. Besar amplitudo *side band* terus mengalami penurunan pada rahmonicnya.

Putaran poros pada kondisi patah setengah gigi beserta rahmoniknya ditunjukkan pada Gambar 10. Pada gambar ditunjukkan bahwa pada 1 kali putaran poros waktu yang ditempuh adalah 0,05937 detik dengan besar amplitudo 0,2221 Volt. Tidak ada sinyal *side band* yang muncul pada sinyal cepstrum kondisi patah setengah gigi. Tetapi jika dibandingkan dengan kondisi roda gigi normal, terlihat adanya perbedaan pada tinggi amplitudo dari sinyal cepstrum.

Putaran poros beserta rahmoniknya pada kondisi kerusakan patah satu gigi ditunjukkan pada Gambar 11. Pada gambar ditunjukkan bahwa pada 1 kali putaran poros waktu yang ditempuh adalah 0,05957 detik dengan besar amplitudo 0,2435 Volt. Sama seperti pada kondisi patah setengah gigi, tidak ada sinyal *side band* yang muncul pada sinyal cepstrum kondisi patah satu gigi. Tetapi jika dibandingkan dengan kondisi roda gigi normal, terlihat adanya perbedaan sangat tinggi pada amplitudo dari sinyal cepstrum yang mencapai 2 kali amplitudo pada kondisi roda gigi normal. Perbedaan amplitudo yang tinggi pada 1 kali putaran poros kondisi patah satu gigi dengan kondisi normal mengindikasikan terjadinya kerusakan pada roda gigi.



**Gambar 12.** Perbandingan sinyal cepstrum pada semua kondisi roda gigi di putaran awal

Gambar 12 adalah perbandingan sinyal cepstrum pada semua kondisi roda gigi. Perbandingan sinyal tersebut dilakukan pada putaran awal poros dari roda gigi yang diuji. Pada perhitungan, besaran tersebut berada pada quefrency 0,05988 s. Sedangkan pada sinyal cepstrum hasil pengolahan data, frekuensi dominan berbeda dengan perhitungan dan memiliki selisih yang cukup kecil dengan data hasil perhitungan. Hal ini disebabkan karena adanya fluktuasi pada saat proses pengambilan data di kecepatan putar poros roda gigi uji.

Pada Gambar 12, sinyal kondisi roda gigi normal berwarna biru dan memiliki amplitudo yang paling kecil sebesar 0,1142 Volt. Kondisi roda gigi aus dengan warna merah dengan amplitudo sebesar 0,1839 Volt. Kondisi patah setengah gigi ditunjukkan dengan warna hijau dengan amplitudo sebesar 0,2221 Volt. Dan kondisi patah satu gigi ditunjukkan dengan warna hitam dengan amplitudo yang paling tinggi sebesar 0,2435 Volt.

Berdasarkan sinyal yang didapatkan dari hasil pengolahan, peningkatan amplitudo yang terjadi pada putaran awal rahmonik poros menunjukkan telah terjadinya kesalahan pada roda gigi. Indikasi dari terjadinya kerusakan pada sinyal cepstrum adalah terjadinya peningkatan amplitudo pada putaran awal dari rahmonik poros.

#### 4. Kesimpulan

Analisis cepstrum getaran dapat dilakukan jika spektrum frekuensi memiliki frekuensi harmonik. Jenis cacat pada roda gigi yang berbeda dapat menyebabkan perbedaan sinyal getaran roda gigi yang berbeda pula. Hasil pengolahan sinyal FFT menunjukkan perbedaan tingginya amplitudo antara kondisi roda gigi normal sebesar 0,003542 Volt, kondisi roda gigi aus sebesar 0,0036 Volt, kondisi patah setengah gigi sebesar 0,004867 Volt, dan kondisi patah 1 gigi sebesar 0,0056 Volt. Hasil pengolahan sinyal cepstrum menunjukkan perbedaan tingginya amplitudo pada putaran awal poros. Perbedaan amplitudo antara kondisi roda gigi normal sebesar 0,1142 Volt, kondisi roda gigi aus sebesar 0,1839 Volt, kondisi patah setengah gigi sebesar 0,2221 Volt, dan kondisi patah 1 gigi sebesar 0,2435 Volt.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1]. Chan, Y. *Teori Dasar Roda Gigi*. Universitas Darma Persada, 2007.
- [2]. Nacib, L., Pekpe, K.M., Sakhara, S. *Detecting Gear Tooth Cracks using Cepstral Analysis in Gearbox of Helicopters*. University of Annaba, Algeria, 2013, 5:139-145.
- [3]. Satrijo, D. *Elemen Mesin III Roda Gigi Lurus dan Roda Gigi Miring*. Modul 1, Program Studi Teknik Mesin UNDIP, 1998.
- [4]. Swara, M.Y. *Penerapan Analisis Cepstrum Getaran Pada Sistem Transmisi Roda Gigi Lurus Bertingkat*. Tesis, Program Studi Teknik Mesin ITB, 2008.