

## **ANALISIS EKSPERIMENTAL CIRI KERUSAHAN RODA GIGI LURUS BERBASIS SPEKTRUM GETARAN**

Awal Syahrani Sirajuddin\*

### **Abstract**

This study aims to analyze the spectrum of vibration and vibration characteristics in accordance with experimentally damaged gear.

Methods of experimental research conducted with the IRD Analyzer test equipment. Gear used is the straight-five pieces of gear. 1 as a pinion gear, while the second gear, third, fourth, and fifth as a gearwheel. Normal conditions gears 2, gears 3 cracked, broken fourth gear and fifth gear is worn. Second gear, third, fourth, and fifth gear is paired with one in turn. Data taken on a gear shaft speed constant at 1100 rpm.

The results showed that with 1100 rpm spin, experimental results showed that the frequency gearmesh for gears 2 = 28800 cpm, gear 3 = 28870 cpm, gear 4 = 28900 cpm, and the gear 5 = 28990 cpm, with an amplitude value of each wheel ie teeth, gears 2 = 0.24  $\mu$ , gear 3 = 0.3  $\mu$ , gear 4 = 0.34  $\mu$  and the gear 5 = 0.42  $\mu$ . Gearmesh sideband signal appears as an indication of damage in accordance with the level of damage.

**Key words :** gearmesh,frequency,sideband,amplitude

### **Ab strak**

Penelitian ini bertujuan menganalisis spektrum getaran dan karakteristik getaran sesuai dengan kerusakan roda gigi secara eksperimental.

Metode penelitian eksperimental dilakukan dengan menggunakan alat uji IRD Analyzer. Roda gigi yang digunakan adalah roda gigi lurus 5 buah. Roda gigi 1 sebagai pinion, sedangkan roda gigi 2, 3, 4, dan 5 sebagai gearwheel. Kondisi roda gigi 2 normal, roda gigi 3 pecah, roda gigi 4 patah dan roda gigi 5 aus. Roda gigi 2, 3, 4, dan 5 dipasangkan dengan roda gigi 1 secara bergantian. Data yang diambil pada putaran poros roda gigi yang konstan di 1100 rpm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan putaran 1100 rpm, hasil eksperimen, diperoleh frekuensi gearmesh untuk roda gigi 2 = 28800 cpm, roda gigi 3 = 28870 cpm, roda gigi 4 = 28900 cpm, dan roda gigi 5 = 28990 cpm, dengan nilai amplitudo tiap roda giginya itu, roda gigi 2 = 0,24  $\mu$ , roda gigi 3 = 0,3  $\mu$ , roda gigi 4 = 0,34  $\mu$  dan roda gigi 5 = 0,42  $\mu$ . Sinyal sideband gearmesh muncul sebagai indikasi adanya kerusakan sesuai dengan tingkat kerusakannya.

**Kata Kunci:** gearmesh, frekuensi, sideband, amplitudo

### **1. Pendahuluan**

Roda gigi merupakan salah satu komponen mesin yang paling banyak digunakan dalam bidang industry manufaktur otomotif. Dalam suatu proses pemersinan, roda gigi mempunyai fungsi yang sangat penting

ya itu untuk meneruskan kecepatan, daya atau torsi dari satu komponen mesin ke komponen lainnya dan dikenal sebagai penggerak mekanis. Ada beberapa jenis penggerak mekanis yang sering digunakan dalam kegiatan industri, seperti *chain* (rantai), *belt*

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

(sabuk), dan *friction wheel drive* (roda gesek). Namun di antara jenis penggerak mekanis tersebut, roda gigi merupakan komponen yang paling banyak digunakan karena beberapa kelebihannya, yaitu:

- Tidak ada slip dalam pemindahan gaya (pada rasio putaran yang tetap, tanpa tergantung pada beban) sehingga efisiensi tinggi
- Umur dan reliabilitasnya tinggi
- Mampu untuk menahan beban lebih
- Perawatannya relatif mudah dan susunannya kompak

Salah satu cara untuk mengetahui dan mendekripsi kerusakan pada roda gigi adalah dengan melakukan perawatan mesin berbasis pemantauan spektrum getaran yang lebih dikenal dengan *predictive maintenance*. Dalam perawatan ini, kerusakan roda gigi bisa diketahui berdasarkan ciri getaran tertentu yang ditimbulkannya tanpa harus membingkar roda gigi tersebut.

Analisis spektrum getaran sering kali digunakan untuk mendekripsi gangguan atau kerusakan pada roda gigi. Tujuannya yaitu untuk mengetahui kondisi roda gigi dari data respon getaran yang diukur. Pada roda gigi fluktusi gaya kontak gigi dan cacat roda gigi adalah dua masalah utama yang menyebabkan terjadinya getaran.

## 2. Studi Pustaka

### 2.1 Tinjauan Umum tentang Getaran

Sebuah benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Sinyal getaran yang dibangkitkan oleh setiap mesin atau struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu, dan rancangananya biasa memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Hal ini

mengandung informasi penting yang berhubungan dengan kondisi mesin tersebut. Getaran yang terjadi memiliki ciri khusus sehingga bisa ditegunkan sumber getamya. Oleh karena itu, respons getaran bisa dijadikan sebagai informasi awal yang aktual untuk menentukan kondisi mesin.

Dalam menghubungkan kondisi mesin dengan getaran yang ditimbulkan perlu diamati karakteristik sinyal getaran dia ntarnya :

- a. Frekuensi
- b. Amplitudo
- c. Phasa

### 2.2 Konsep-Konsep Analisa Getaran

Data getaran yang biasanya diporeleh dalam bentuk sinyal (*analog*) listrik yang kontinyu yang dihasilkan dari transducer, dimana masing-masing sinyal analog tersebut menunjukkan besar regangan, tegangan, gaya, atau parameter gerakan sesaat (*displacement, velocity, dan acceleration*) sebagai fungsi waktu. Sinyal yang demikian disebut sebagai *time history*. Suatu sample data definisikan sebagai *time history* dari pengukuran getaran tunggal  $x(t)$  dalam durasi tertentu.

Getaran diajukan sebagai gerak osilatif disertai posisi tertentu. Untuk getaran sebuah titik akibat operasi mesin, analisa getaran didasarkan pada peristiwa gerak osilatif yang periodik. Gerak periodik adalah suatu gerak gelombang yang berulang setelah se leng waktu tertentu. Bentuk paling sederhana dari gerak periodik adalah gerak harmonik. Grafik gerak harmonik-periodik menampilkan perpindahan pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.

Hubungan antara perpindahan dan waktu untuk gerak harmonik dapat

dinya takan secara matematik sebagai berikut :

$$X = X_0 \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$

Dimana perpindahan maksimum disebut sebagai  $X_0$ , yang juga disebut sebagai amplitudo, sedang  $\omega$  adalah frekuensi angular yang umumnya dinya takan dalam radian per detik.

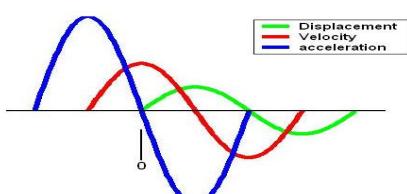
Dalam analisa getaran diketahui definisi lain untuk frekuensi, yang diberi notasi  $f$  dan definisikan sebagaimana jumlah siklus per satuan waktu. Satuan yang umum digunakan untuk  $f$  adalah siklus per menit (cpm) atau siklus per detik (cps, Hz).

Kecepatan dan percepatan gerak harmonik dapat diperoleh dengan differensiasi. Dengan menggunakan notasi titik untuk turunannya, maka didapat :

$$\text{Kecepatan } \dot{X} = \frac{dX}{dt} = X_0 \omega \cos \omega t = X_0 \omega \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Percepatan } \ddot{X} = \frac{d^2X}{dt^2} = -X_0 \omega^2 \sin \omega t = X_0 \omega^2 \sin(\omega t + \pi) \dots\dots\dots (3)$$

Jadi kecepatan dan percepatan juga harmonik dengan frekuensi osilasi yang sama, tetapi memiliki beda phasa terhadap perpindahan, berturut-turut dengan  $\frac{\pi}{2}$  dan  $\pi$  radian.



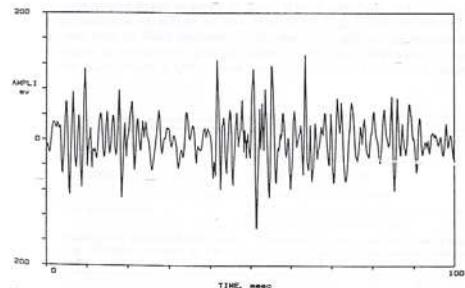
Gambar 2. Hubungan phasa perpindahan, kecepatan dan percepatan pada gerak harmonik

### 2.3 Representasi grafis dari getaran

Sinyal getaran yang diperoleh dari alat ukur getaran pada suatu pengukuran getaran mesin adalah suatu gabungan respon bangunan mesin terhadap berbagai gaya eksitas dari dalam maupun luar. Dalam analisa, terhadap sinyal getaran dilakukan penguraian sinyal komplek menjadi komponen-komponennya, dan selanjutnya masing-masing komponen dikorelasikan dengan sumbergetarnya.

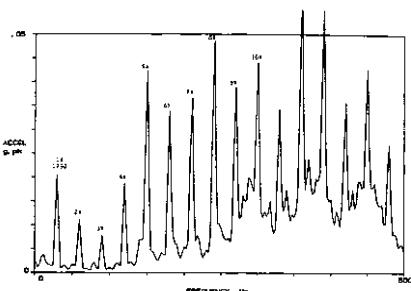
Profil getaran yang diperoleh dapat ditampilkan dalam dua bentuk data sinyal getaran yaitu : time-domain dan frequency-domain.

#### Time-domain

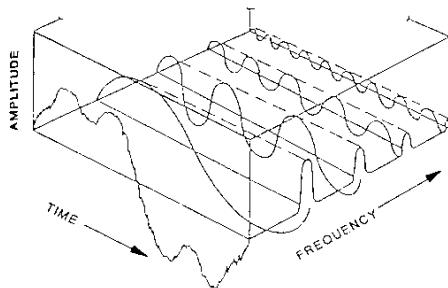


Gambar 3. Grafik time-domain pada rotating machinery

#### Frequency-domain



Gambar 4. Grafik frequency-domain pada rotating machinery



Gambar 5. Hubungan antara grafik time-domain dan frequency-domain

#### 2.4 Analisis Gitaran Mesin

Analisis gitaran dapat dilakukan empat tahap sejauhnya analisis tidak dapat diabaikan, karena antara satu dan yang lainnya saling mendukung. Adapun empat tahap tersebut adalah :

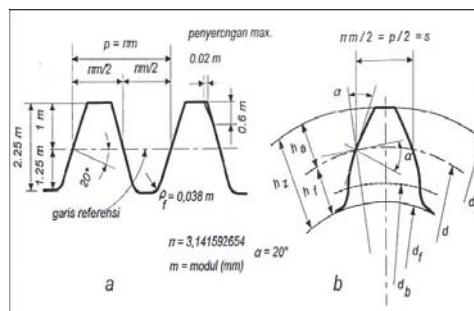
- Pengubahan gitaran menjadi sinyal listrik.
- Gitaran diubah menjadi sinyal listrik melalui transduser. Dalam tahap ini perlu ditentukan jenis transduser, penguat sinyal dan penempatan transduser.
- Pengurangan sinyal listrik menjadi komponen-komponennya.
- Tahap ini adalah yang paling penting, sinyal listrik dalam domain waktu yang merupakan sinyal acak, ditransformasi ke domain frekuensi yang disebut sebagai spektrum linier dapat diproses lebih lanjut untuk kegunaan misalkan menentukan respon frekuensi. Prosese tersebut menggunakan Mechanical Signature Analyzer (MSA) dan computer.
- Mengidentifikasi sumber gitaran. Setiap sumber gitaran mempunyai karakteristik sinyal yang tentu yang ditunjukkan dari model teoritis. Hasil teoritis tersebut memungkinkan

dikoreksikan dengan hasil pengukuran.

➤ Tidak lanjut dan dokumentasi. Pada tahapan ini getaran yang tidak diizinkan, maka perbaikan perlu dilaksanakan. Jika getaran masih dibawah tingkat getaran yang diizinkan maka data dari hasil analisis perlu disimpan sebagai catatan kondisi mesin.

#### 2.5 Profil Roda Gigi

Penerapan mengenai profil roda gigi yang terdiri dari definisi dan notasi elemen roda gigi terdapat pada standar ISO, ISO 53 (Cylindrical gears for general and heavy engineering Basic Rack) dan ISO R 1122 (Glossary of gears geometrical definitions). Definisi dan notasi elemen ini sama untuk setiap jenis roda gigi. Bentuk standar profil roda gigi dari batang gigi dan roda gigi lurus adalah seperti pada gambar berikut :



Gambar 6. Profil Standar ISO untuk batang gigi a dan roda gigi b

#### 2.6 Cacat Pada Roda Gigi

Cacat pada roda gigi dapat dibedakan atas :

- a. Cacat pada proses pembuatan, misalkan :
  - Kesalahan profil involute gigi
  - Massa tak seimbang pada roda gigi
  - Kesalahan jarak pitch antar gigi

- Ke ta kb ula ta n ro da g i g i
  - Ro da g i g i y a ng e kse ntrik.

b. Cacat pada proses pemasan an, misalnya :

  - Ke ta kse sumbu ua n a nt a r p o r o s ro da g i g i
  - Bac kla s y a ng te rla lu ke cil a t a u b e s a r
  - E kse ntrisita s a nt a ra ro da g i g i d a n p o r o sny a .

c. Cacat pada proses pemakaian, misalnya :

  - Ke a usa n
  - Pe cah (*spalling*)
  - Pa ta h g i g i

## 2.7 Kartekistik Frekuensi Renda gigi

Frequency Gear Mesh

Fre kue nsi ini ada la h fre kue nsi  
p o k o k y a n g s e l a l u d i k a i t k a n d e n g a n  
p a s a n g a n r o d a g i g i . D i m a n a b e s a m y a  
d i p e n g a r u h i o l e h j u m l a h (z) d a n  
k e c e p a t a n p u t a r (n), d a n b e s a m y a  
d a p a t dihitung dengan persamaan :

Fre kue nsi Prib a d i

Fre kue nsi pribadi roda gigi  
muncul apabila fre kue nsi gaya impuls  
yang dia kibatkan oleh caca cat pada roda  
gigisa mada engan fre kue nsi pribadinya.

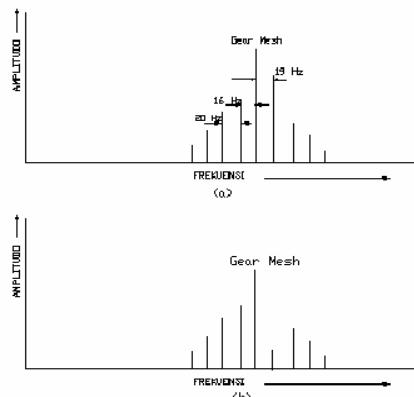
## Sidebands

*Sideband* buka nla h istila h khusus yang menggambarkan salah satu ciri getaran pada sistem roda gigi. *Sideband* biasa terjadi pada bantalan atau pada komponen mesin yang berputar lainnya.

Backlash

*Backlash* adalah faktor yang penting pada operasi gear. Semua gear harus mempunyai ukuran tertentu dari *backlash* untuk menghindarkan terlalu ransik.

dalam kekonse ntris an dan bentuk gigi  
Ke tidak cukup an *backlash*  
menyebabkan kerusakan lebih awal  
yang dipengaruhi oleh beberapa faktor  
Terlalu banyak *backlash* meningkatkan  
kontak dan mengurangi umur dari gear  
set.



Gambar 7. Tanda atau bentuk  
ke rusakan pada gear :

- (a) Backlash                         ya ng  
     b e rle b iha n                     a ka n  
     m e n g ub a h                     ja ra k  
     sideband

(b) Gigi            p a t a h            a ka n  
     m e n g ub a h                     a m p litud o  
     sideband.

### **3. Model Uji Penelitian**

Data yang diambil pada eksperimen kali ini adalah getaran. Getaran yang akan diambil adalah getaran yang dibangkitkan oleh roda gigi (gear) pada saat mesin mesin uji diperasikan. Oleh karena itu pada eksperimen kali ini diperlukan mesin uji untuk memutar pasangan roda gigi tersebut. Pada eksperimen kali ini roda gigi yang digunakan adalah tipe roda gigi lurus (spur gear) sebanyak 5 buah, yang terdiri dari spesimen untuk pinion terdiri 1 buah dipilih yang normal ataupun tidak cacat, sedangkan spesimen untuk

gear terdiri dari 4 buah yang terdiri dari sebuah spesimen normal dan tiga buah spesimen yang cacat (aus, patah dan pecah).

a. Roda gigi Pinion



Gambar 8. Roda gigi Pinion

b. Roda gigi gear



Gambar 9. Spesimen uji

### 3.1 Media pengujian

Media yang digunakan untuk menopang mesin uji adalah engine mounting. Tujuannya agar getaran dari

mesin uji akibat getaran dari motor listrik mampu direndam dengan baik oleh engine mounting, sehingga efek dari getaran sistem selain roda gigi dapat diminimalkan.

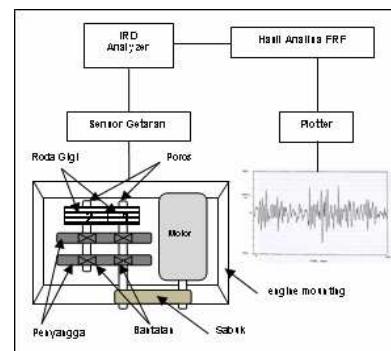


Gambar 10. Media Mesin uji

### 3.2 Permodelan Uji Eksperimen Getaran

Pada eksperimen ini cara pengambilan data adalah dengan cara merekam getaran yang dibangkitkan mesin uji dengan memakai transducer dari IRD. Kemudian hasil rekaman getaran dicetak pada mesin cetak (plotter) berupa grafik amplitudo terhadap frekuensi getaran.

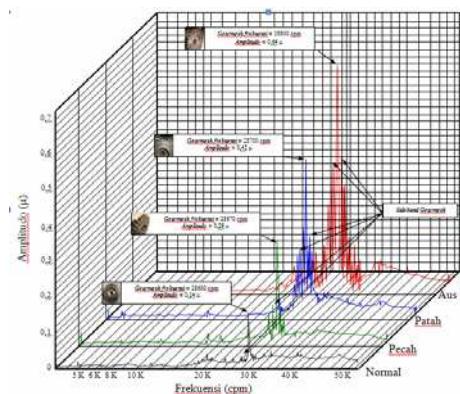
Skeema pengambilan data sebagaimana berikut:



Gambar 11. Permodelan uji Eksperimental getaran

### 3.3 Analisis secara eksperimental

Dari gambar 12 terlihat pada empat kondisi roda gigi gearmesh frekuensi yang muncul di sekitar 28800 cpm - 30000 cpm peak spektrum. Frekuensi yang muncul adalah peak yang tinggi dengan amplitudo yang tinggi yang merupakan indikasi dari gearmesh frekuensi.



Gambar 12. Grafik hubungan Frekuensi, Amplitudo dan kondisi roda gigi

Pada pasangan roda gigi 1&2 gearmesh frekuensi tertinggi 28800 cpm dengan amplitudo 0,24  $\mu$ , pasangan roda gigi 1&3 gearmesh frekuensi tertinggi 28870 cpm dengan amplitudo 0,3  $\mu$ , pasangan roda gigi 1&4 gearmesh frekuensi tertinggi 28900 cpm dengan amplitudo 0,34  $\mu$ , dan pasangan roda gigi 1&5 gearmesh frekuensi 28990 cpm dengan amplitudo 0,42  $\mu$ .

## 4. Pembahasan

### 4.1 Analisis karakteristik getaran

#### a. Gearmesh Frekuensi

Dengan memperhatikan hasil pengambilan data secara eksperimental dari empat jenis kondisi roda gigi (normal, pecah, patah & aus) gearmesh yang diperoleh berada disekitar 28800 - 30000 cpm, dengan amplitudo disekitar

0,20  $\mu$  - 0,50  $\mu$ . Hal ini dibuktikan oleh karena tingkat kerusakan dari roda gigi. Pada gearmesh frekuensi terjadi pergeseran frekuensi dan peningkatan amplitudo setiap kondisi dan tingkat ciri kerusakan roda gigi, sebagai amana terlihat pada spektrum getaran.

Amplitudo tertinggi terjadi pada pasangan roda gigi 1&5, hal ini dibuktikan roda gigi 5 telah mengakibatkan perubahan lebar gigi pada roda gigi. Secara teoritis adanya keausan akan memperbesar backlash dari ukuran normal settingan. Backlash adalah faktor yang penting pada operasi gear. Semua gear harus mempunyai ukuran tertentu dari backlash untuk menghindarkan toleransi dalam kekonseptrisan dan bentuk gigi. Kelebihan backlash menyebabkan kerusakan lebih awal yang diperlukan lebih banyak berlebih. Terlalu banyak backlash meningkatkan kontak dan mengurangi umur dari gear set. Backlash yang tidak normal mengubah spasial side band disekitar frekuensi gearmesh.

Seiring berpasangannya maka akan mempengaruhi amplitudonya, semakin besar amplitudo yang terjadi maka semakin besar pula kerusakan yang terjadi pada roda gigi tersebut. Sedangkan pada gearmesh frekuensi akibat kerusakan roda gigi terjadinya pergeseran.

#### b. Sideband Gearmesh

Sideband gearmesh adalah salah satu karakteristik getaran yang dapat digunakan untuk mengetahui ciri dan tingkat kerusakan roda gigi dengan melihat banyaknya sideband yang muncul dan tinggi amplitudo sideband tersebut.

Sideband pada pasangan roda gigi 1&2, spektrum pada frekuensi disekitar gearmesh untuk pasangan roda gigi 1&2 seperti ditunjukkan pada tampilan sideband gearmesh. Namun

bila diperhatikan sideband yang muncul mempunyai amplitudo yang kecil, hal ini dikarenakan pada pasangan roda gigi 1&2 tidak mengalami kerusakan.

Spektrum getaran yang terjadi pada gambar spektrum terlihat bahwa disekitar garmesh frekuensi terjadi sideband garmesh untuk pasangan roda gigi 1&3, sideband garmesh pasangan roda gigi 1&3 lebih tinggi peak spektrumnya bila dibandingkan dengan sideband garmesh pasangan roda gigi 1&2. Hal ini kemungkinan disebabkan karena roda gigi 3 mengalami cacat pecah yang mempengaruhi kontak antar gigi.

Dari gambar spektrum dapat kita melihat bahwa disekitar garmesh frekuensi muncul sideband garmesh yang sebagaimana indikasi adanya kerusakan yang dialami roda gigi. Sideband yang muncul disekitar garmesh frekuensi pada pasangan roda gigi 1&4 mempunyai peak lebih tinggi dan lebih banyak jumlahnya dibandingkan dengan sideband pada pasangan roda gigi 1&2 serta 1&3. Hal ini juga menandakan bahwa tingkat kerusakan yang terjadi lebih rusak dibandingkan dengan pasangan roda gigi 1&3.

Sejak seiringnya muncul sideband dengan jumlah banyak maka diindikasikan adanya kerusakan roda gigi. Pada gambar spektrum terlihat bahwa sideband yang muncul disekitar garmesh frekuensi semakin banyak serta amplitudo yang lebih tinggi peak spektrumnya. Hal ini kemungkinan disebabkan karena roda gigi 5 mengalami kerusakan yang lebih besar bila dibandingkan dengan roda gigi 2, 3 dan 4. Hal ini dikarenakan karena semakin besar suatu roda gigi maka akan memperbesar backlash sehingga dengan semakin banyaknya backlash maka selain memperbesar amplitudo dari sideband juga akan membuat

amplitudo sideband garmesh yang ber variasi.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa secara eksperimen dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Semakin besar garmesh frekuensi dan amplitudo yang terjadi menandakan semakin besar pulsa kerusakan yang terjadi pada roda gigi.
- b. Besar amplitudo yang dihasilkan serta banyaknya sideband muncul dapat mendekati tingkat dan cirikerasakan yang terjadi pada roda gigi.
- c. Peningkatan amplitudo terjadi akibat adanya kesalahan dari backlash, semakin besar backlash yang ada maka akan meningkatkan amplitudo demikian sebaliknya.

### 6. Daftar Pustaka

Neumann, G., "Elemen Mesin", 1990, Edangga, Jakarta.

Yudha Swara M, "Penerapan Analisis Cepstrum Getaran Pada Sistem Transmisi Roda Gigi Lurus Bertingkat", 2008, Thesis Magister, IIB-Bandung, Bandung

Dalpiaz, G., Effectiveness and Sensitivity of Vibration Processing Techniques For Local Fault Detection In Gears, 1999, DIEM, University of Bologna, Italia

Thomson, W.T "Theory of Vibration with Application, 4<sup>th</sup> edition". 1993. Prentice-Hall, USA

Robert, K.V. "Analisis Getaran", 1995. PT Eresco, Bandung

Rochim, T, Diktat Kuliah Metrologi Industri dan Kontrol Kualitas

Hewlett-Packard, Dynamic Signal Analyzer Applications, Effective

*Analisis Eksperimental Ciri Kerusakan Roda Gigi Lurus Berbasis Spektrum Getaran  
(Awal Syahrani Sirajuddin)*

Machinery Maintenance, 1983,  
Hewlett-Packard Company, USA

Paz. Mario, "Dinamika Struktur", 1985  
Edangga, Jakarta

PAU, Laboratorium Dinamika "Getaran  
Permesinan", 1997, Tindak  
Lanjut, Ilmu Rekaaya-IIIB