

ANALISIS EKSPERIMENTAL CIRI KERUSAKAN 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 μ , gear 3 = 0.3 μ , gear 4 = 0.34 μ and the gear 5 = 0.42 μ . Gearmesh sideband signal appears as an indication of damage in accordance with the level of damage.

Key words : gearmesh, frequency, sideband, amplitude

Abstrak

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

Metode penelitian eksperimen 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 gigi yaitu, roda gigi 2 = 0,24 μ , roda gigi 3 = 0,3 μ , roda gigi 4 = 0,34 μ dan roda gigi 5 = 0,42 μ . 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 industri maupun bidang otomotif. Dalam suatu proses pemrosesan, roda gigi mempunyai fungsi yang sangat penting

yaitu 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 besarnya 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 mendeteksi kerusakan pada roda gigi adalah dengan melakukan perawatan mesin berbasis pemantauan spectrum getaran yang lebih dikenal dengan *predictive maintenance*. Dalam perawatan ini, kerusakan roda gigi bisa diketahui berdasarkan ciri getaran tertentu yang ditimbulkannya tanpa harus membongkar roda gigi tersebut.

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

2. Studi Pustaka

2.1 Tinjauan Umum tentang Getaran

Semua 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 rancangannya biasa memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Hal ini

mengandung informasi penting yang berhubungan dengan kondisi mesin tersebut. Getaran yang terjadi memiliki ciri khusus sehingga bisa ditentukan sumber getarnya. Oleh karena itu, respon getaran bisa dijadikan sebagai informasi awal yang *actual* untuk menentukan kondisi mesin.

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

- a. Frekuensi
- b. Amplitudo
- c. Fasa

2.2 Konsep - Konsep Analisa Getaran

Data getaran yang biasanya diperoleh 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 didefinisikan sebagai *time history* dari pengukuran getaran tunggal $x(t)$ dalam durasi tertentu.

Getaran diartikan sebagai gerak osilatif disekitar 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 selang 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

dinyatakan secara matematik sebagai berikut :

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

Dimana perpindahan maksimum diekspresikan sebagai X_0 , yang juga disebut sebagai amplitudo, sedang ω adalah frekuensi angular yang umumnya dinyatakan dalam radian per detik.

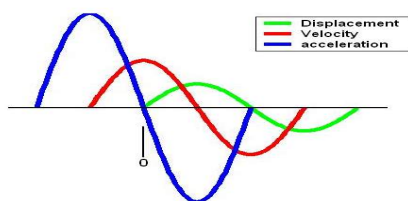
Dalam analisa getaran dikenal pula definisi lain untuk frekuensi, yang diberi notasi f dan didefinisikan sebagai jumlah siklus per satuan waktu. Satuan yang umum digunakan untuk f adalah siklus per menit (cpm) atau siklus per detik (cps, Hz).

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

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

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

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



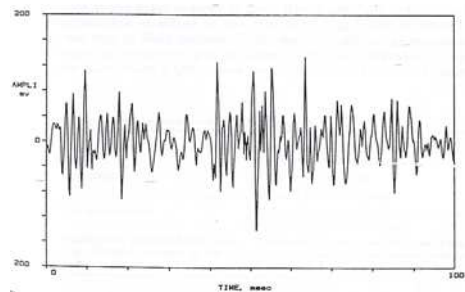
Gambar 2. Hubungan fasa perpindahan, kecepatan dan percepatan pada gerak harmonik

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 eksitasi dari dalam maupun luar. Dalam analisa, terhadap sinyal getaran dilakukan penguraian sinyal kompleks menjadi komponen-komponennya, dan selanjutnya masing-masing komponen dikorelasikan dengan sumber getarnya.

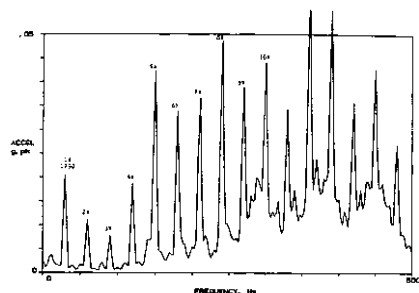
Profil getaran yang diperoleh dapat ditampilkan dalam dua bentuk data sinyal getaran yaitu : time-domain dan frequency-domain.

Time-domain

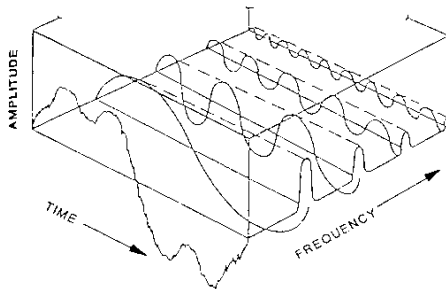


Gambar 3. Grafik time-domain pada rotating machinery

Frequency-domain



Gambar 4. Grafik frequency-domain pada rotating machinery



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

2.4 Analisis Getaran Mesin

Analisis getaran dapat digolongkan empat tahap setiap tahapan analisis tidak dapat diabaikan, karena antara satu dan yang lainnya saling mendukung. Adapun empat tahap tersebut adalah :

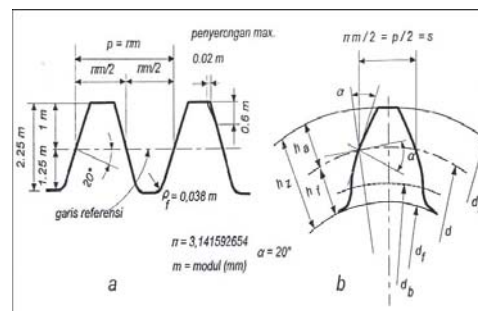
- Pengubahan getaran menjadi sinyal listrik.
Getaran diubah menjadi sinyal listrik melalui transduser. Dalam tahap ini perlu ditentukan jenis transduser, penguat sinyal dan penempatan transduser.
- Penguraian sinyal listrik menjadi komponen-komponennya.
Tahap ini adalah yang paling penting, sinyal listrik dalam domain waktu yang merupakan sinyal acak, ditransformasikan ke domain frekuensi yang disebut sebagai spectrum linier dapat diproses lebih lanjut untuk kegunaan misalnya menentukan respon frekuensi. Proses tersebut menggunakan *Mechanical Signature Analyser (MSA)* dan computer.
- Mengidentifikasi sumber getaran.
Setiap sumber getaran mempunyai karakteristis sinyal yang tertentu yang diturunkan dari model teoritis. Hasil teoritis tersebut memungkinkan

dikorelasikan dengan hasil pengukuran.

- Tindak 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

Penjelasan 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 (*Glosary 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 gigib

2.6 Cacat Pada Roda Gigi

Cacat pada roda gigi dapat dibedakan atas :

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

- Ketakbulatan roda gigi
 - Roda gigi yang eksentrik.
- b. Cacat pada proses pemasangan, misalnya :
- Ketaksesumbuan antarpors roda gigi
 - Backlash yang terlalu kecil atau besar
 - Eksentrisitas antara roda gigi dan porosnya.
- c. Cacat pada proses pemakaian, misalnya :
- Keausan
 - Pecah (*spalling*)
 - Patah gigi

2.7 Karakteristik Frekuensi Roda gigi

Frekuensi Gear Mesh

Frekuensi ini adalah frekuensi pokok yang selalu dikaitkan dengan pasangan roda gigi. Dimana besarnya dipengaruhi oleh jumlah (z) dan kecepatan putar (n), dan besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$f_{\text{gear mesh}} = n z \dots\dots\dots(4)$$

Frekuensi Pribadi

Frekuensi pribadi roda gigi muncul apabila frekuensi gaya impuls yang diakibatkan oleh cacat pada roda gigi sama dengan frekuensi pribadinya.

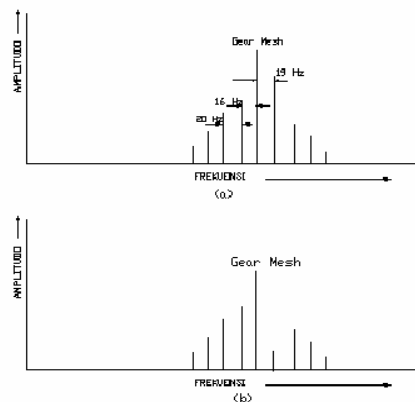
Sidebands

Sideband bukanlah istilah khusus yang menggambarkan salah satu ciri getaran pada system roda gigi. *Sideband* biasa terjadi pada bantalan atau pada komponen mesin yang berputar lainnya.

Backlash

Backlash adalah factor yang penting pada operasi gear. Semua gear harus mempunyai ukuran tertentu dari *backlash* untuk mengijinkan toleransi

dalam konsentrasi dan bentuk gigi. Ketidak cukupan *backlash* menyebabkan kerusakan lebih awal yang dipengaruhi oleh beban berlebih. Terlalu banyak *backlash* meningkatkan kontak dan mengurangi umur dari gear set.



Gambar 7. Tanda atau bentuk kerusakan pada gear :

- (a) *Backlash* yang berlebihan akan mengubah jarak *sideband*
- (b) Gigi patah akan mengubah amplitudo *sideband*.

3. Model Uji Penelitian

Data yang diambil pada eksperimen kali ini adalah data getaran. Getaran yang akan diambil adalah getaran yang dibangkitkan oleh roda gigi (*gear*) pada saat mesin mesin uji dioperasikan. 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 atau tanpa cacat, sedang 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



a. Spesimen gear normal

b. Spesimen Gear pecah



c. Spesimen gear aus

d. Spesimen gear patah

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 direkam dengan baik oleh *engine mounting*, sehingga efek dari getaran sistem selain roda gigi dapat diminimalisir.

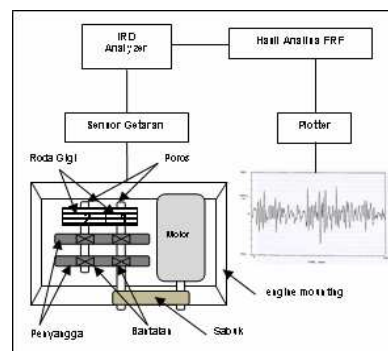


Gambar 10. Media Mesin uji

3.2 Pemodelan 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.

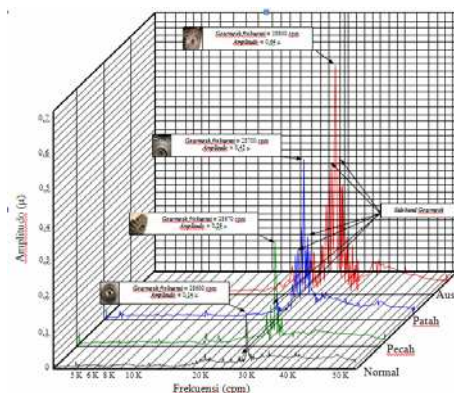
Skema pengambilan data sebagai berikut:



Gambar 11. Pemodelan uji Eksperimental getaran

3.3 Analisis secara eksperimen

Dari gambar 12 terlihat pada empat kondisi roda gigi geamash 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 μ , pasangan roda gigi 1&3 *gearmesh* frekuensi tertinggi 28870 cpm dengan amplitudo 0,3 μ , pasangan roda gigi 1&4 *gearmesh* frekuensi tertinggi 28900 cpm dengan amplitudo 0,34 μ , dan pasangan roda gigi 1&5 *gearmesh* frekuensi tertinggi 28990 cpm dengan amplitudo 0,42 μ .

4. Pembahasan

4.1 Analisis karakteristik getaran

a. Gearmesh Frekuensi

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

0,20 μ - 0,50 μ . Hal ini disebabkan oleh karena tingkat kerusakan dari roda gigi. Pada *gearmesh* frekuensi terjadi pergeseran frekuensi dan peningkatan amplitudo setiap kondisi dan tingkat ciri kerusakan roda gigi, sebagaimana terlihat pada spektrum getaran.

Amplitudo tertinggi terjadi pada pasangan roda gigi 1&5, hal ini disebabkan roda gigi 5 telah mengakibatkan perubahan lebar gigi pada roda gigi. Secara teoritis adanya keausan akan memperbesar backlash dari ukuran normal settingan. Backlash adalah factor yang penting pada operasi gear. Semua gear harus mempunyai ukuran tertentu dari backlash untuk mengijinkan toleransi dalam kekonstrisan dan bentuk gigi. Ketidakekupan backlash menyebabkan kerusakan lebih awal yang dipengaruhi oleh beban berlebih. Terlalu banyak backlash meningkatkan kontak dan mengurangi umur dari gear set. Backlash yang tidak normal mengubah spasi dari side band disekitar frekuensi *gearmesh*.

Semakin besar ciri kerusakan roda gigi 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 menganalisa 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 diatas dapat dilihat munculnya 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 *gearmesh* frekuensi terjadi *sideband gearmesh* untuk pasangan roda gigi 1&3, *sideband gearmesh* pasangan roda gigi 1&3 lebih tinggi peak spektrumnya bila dibandingkan dengan *sideband gearmesh* pasangan roda gigi 1&2. Hal ini kemungkinan disebabkan karena roda gigi 3 mengalami cacat pecah yang mempengaruhi kontak antargigi.

Dari gambar spektrum dapat kita melihat bahwa disekitar *gearmesh* frekuensi muncul *sideband gearmesh* yang sebagai indikasi adanya kerusakan yang dialami roda gigi. *Sideband* yang muncul disekitar *gearmesh* 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.

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

amplitudo *sideband gearmesh* yang bervariasi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa secara eksperimen dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Semakin besar *gearmesh* frekuensi dan amplitudo yang terjadi menandakan semakin besar pula kerusakan yang terjadi pada roda gigi.
- b. Besar amplitudo yang dihasilkan serta banyaknya sideband muncul dapat mendeteksi tingkat dan ciri kerusakan 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

- Neimann, G., "Elemen Mesin", 1990, Erlangga, Jakarta.
- Yudha Swara M, "Penerapan Analisis Cepstrum Getaran Pada Sistem Transmisi Roda Gigi Lurus Bertingkat", 2008, Thesis Magister, IIB-Bandung, Bandung
- Dalpia, 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, 4th edition". 1993. Prentice-Hall, USA
- Robert, K.V. "Analisis Getaran", 1995. PT Eresco, Bandung
- Rochim, T., Diktat Kuliah Metrologi Industri dan Kontrol Kualitas
- Heulett-Packer, *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
Erlangga, Jakarta

PAU, Laboratorium Dinamika "*Getaran*
Permesinan", 1997, Tindak
Lanjut, Ilmu Rekayasa-IIB