

# KARAKTERISTIK KEBISINGAN PADA KOTAK RODA GIGI DENGAN SISTEM NIRKABEL

Parno Raharjo  
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung  
parno\_raharjo@polban.ac.id

## Abstrak

*Inspeksi kebisingan merupakan teknik predictive maintenance yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi mesin. Inspeksi kebisingan dapat dilakukan secara off line dan secara on line. Inspeksi kebisingan secara on line dilakukan di pusat kendali yang letaknya jauh dari mesin yang diinspeksi, sehingga diperlukan jaringan kabel yang panjang dan rumit dalam perakitannya. Penerapan inspeksi kebisingan nirkabel, kerumitan instalasi dapat diatasi. Penerapan inspeksi kebisingan nirkabel dengan menggunakan wireless microphone dapat dilakukan, namun diperlukan inspeksi lebih jauh. Obyek inspeksi adalah kotak roda gigi. Inspeksi dan pengambilan data dilakukan dengan sistem nirkabel dan dijustifikasi dengan sistem kabel yang dilengkapi dengan sistem data akuisisi. Analisa amplitude, time domain, frequency domain dengan Matlab<sup>TM</sup> digunakan untuk mengetahui karakteristik kebisingan pada mesin tersebut karena pengaruh perubahan kecepatan. Sinyal (time domain) dan spektrum (frequency domain) kebisingan telah sesuai dengan standard. Semakin tinggi kecepatan, semakin tinggi amplitude yang terjadi. Amplitudo tertinggi terletak pada 12-13ff.*

**Keywords:** kebisingan, *predictive maintenance*, *offline*, *online*, nirkabel.

## 1. Pendahuluan

Inspeksi kebisingan merupakan teknik *predictive maintenance* yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi mesin terutama pada mesin rotasi. Kebisingan pada mesin yang tidak biasa menunjukkan adanya kerusakan pada mesin tersebut. Inspeksi kebisingan untuk maksud keselamatan kerja sudah lama diaplikasikan, sedangkan inspeksi kebisingan/bunyi untuk menentukan kondisi mesin belum mapan dan masih diperlukan pengkajian yang lebih jauh. Sedangkan inspeksi yang sejenis seperti inspeksi vibrasi telah mapan dan handal untuk menentukan kondisi mesin.

Inspeksi kebisingan dapat dilakukan secara *off line* dan secara *on line*. Inspeksi kebisingan secara *off line* tidak *real time* dan teknisi berkeliling untuk melakukan Inspeksi pada mesin secara *off line* memakan waktu yang lama dan tidak efisien. Inspeksi kebisingan secara *on line* dilakukan secara *real time*, karena *microphone* telah dipasang secara tetap di setiap mesin. Inspeksi kebisingan secara *on line* dimonitor dari *pusat kendali* yang letaknya cukup jauh dari mesin yang

dimonitor, sehingga diperlukan jaringan kabel yang sangat banyak dan panjang serta rumit dalam menginstalasi.

*Wireless microphone* yang biasa digunakan untuk pengeras suara secara teknis dapat digunakan untuk melakukan inspeksi kebisingan nirkabel. Peralatan ini belum diketahui karakteristiknya apakah valid untuk memonitor kebisingan yang terjadi pada mesin atau tidak, karena bukan instrumen ukur.

## 2. Tinjauan pustaka

### 2.1 Pemeliharaan prediktif

Inspeksi kebisingan merupakan teknik pemeliharaan prediktif yang bertujuan untuk menentukan kondisi mesin atau peralatan dengan cara memeriksa atau memonitor kondisi kebisingan yang terjadi pada mesin tersebut.

Inspeksi kebisingan telah banyak diterapkan, tetapi untuk keperluan keselamatan kerja. Inspeksi kebisingan untuk keperluan inspeksi kondisi mesin masih sangat sedikit dan belum mapan seperti inspeksi vibrasi.

Inspeksi kebisingan untuk keselamatan kerja dilakukan oleh Huskey A dan van Dam J (2010) melakukan investigasi kebisingan pada generator turbin angin tetapi untuk mengetahui tingkat kebisingan atau *Sound Power Level* (Huskey *et al.*, 2010).

Metwally dan kawan-kawan (2011), melakukan penelitian yang bertujuan mengkuantitaskan karakteristik kebisingan atau kebisingan pada AC kendaraan terhadap kenyamanan penumpang (Metwally *et al.*, 2011). Inspeksi kebisingan telah dilakukan tetapi untuk menentukan tingkat kebisingan yang dihubungkan dengan kesehatan dan keselamatan masyarakat. Sedangkan Inspeksi kebisingan untuk menentukan kondisi atau tingkat kerusakan mesin belum banyak dilakukan.

Inspeksi kebisingan atau *airborne sound* belum banyak diterapkan di industri, padahal karakteristik fisik, sinyal dan spektral dari kebisingan mirip dengan karakteristik vibrasi atau getaran. Walaupun demikian inspeksi kebisingan telah dilakukan, namun demikian informasi masih terbatas, belum mapan dan masih diperlukan studi lebih lanjut.

Ramroop dan kawan-kawan (2001) menerapkan inspeksi kondisi sistem kotak roda gigi dengan menggunakan *airborne acoustic* yang menghasilkan bahwa inspeksi akustik memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode vibrasi. Disamping itu pengalaman yang berkelanjutan merupakan pedoman yang sangat baik untuk mengimplementasikan inspeksi akustik (Ramroop *et al.*, 2001).

Bayidar dan kawan-kawan (2001) melakukan studi perbandingan antara inspeksi getaran dan akustik dalam rangka mendeteksi kerusakan roda gigi, hasilnya menunjukkan bahwa akustik dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan roda gigi secara efektif seperti *gear crack*, *localized wear* dan *broken tooth* (Bayidar *et al.*, 2001).

Cook (2012), melakukan inspeksi akustik untuk kesehatan mesin perkakas

melalui kebisingan. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan nyata antara keausan *cutting tool* dengan sinyal kebisingan pada mesin perkakas (Cook, 2012).

Raharjo dan kawan-kawan (2012) telah melakukan studi perbandingan Inspeksi kondisi bantalan luncur menyelarasi sendiri yang mengalami *scratching* menggunakan *surface vibration*, *airborne sound* dan *acoustic emission* (AE). Hasilnya menunjukkan bahwa sinyal dan spektrum ke tiga jenis inspeksi tersebut dapat membedakan antara bantalan yang normal dengan bantalan yang mengalami *scratching*. *Airborne sound* menunjukkan amplitude tertinggi pada frekuensi 5500 Hz dan amplitude tertinggi AE terjadi pada frekuensi 25kHz. AE menunjukkan sensitivitas yang paling tinggi (Raharjo *et al.*, 2012).

Dari berbagai studi di atas analisis kebisingan mampu digunakan untuk mendeteksi kerusakan, walaupun demikian karakteristik sinyal kebisingan dan spektrum kebisingan masing-masing kerusakan belum dapat diidentifikasi dengan baik. Oleh karena itu masih diperlukan studi karakteristik kebisingan untuk mendeteksi kerusakan mesin secara lebih luas dan lebih intensif.

## 2.2 Sumber kebisingan

Kebisingan pada mesin dapat berasal dari setiap komponen mesin yang bergetar. Kebisingan merambat sebagai gelombang melalui lingkungan udara mencapai pendengar. Kebisingan adalah variasi tekanan lokal yang bergerak melalui media material pada kecepatan tertentu yang tergantung dari sifat material itu sendiri (Barron, 2003).

Kebisingan dari mesin rotari dapat berbentuk *aerodynamic*, *electromagnetic* dan *structural sound*. Setiap komponen membangkitkan kebisingan pada spesifik frekuensi yang berhubungan dengan *natural frequency* (Kim *et al.*, 2010).

Di industri, *aerodynamic sound* pada umumnya dibangkitkan oleh *pneumatics discharge system* walaupun demikian *aerodynamics sound* juga timbul dimana kecepatan yang relatif besar antara obyek atau benda yang pejal dengan udara sekelilingnya, seperti pada sudu ventilator. *Electromagnetic sound* dihasilkan oleh gaya elektromagnet yang dibangkitkan oleh interaksi antara magnet dengan arus listrik dalam motor listrik.

Kebisingan karena getaran timbul dalam benda padat, cair dan gas serta tergantung dari media yang dilaluinya. Jika benda padat digetarkan *structure borne sound vibration* ditransmisikan ke sekelilingnya. Bodi padat yang bergetar yang kemudian sebagai sumber kebisingan yang menimbulkan *airborne sound* (Schenk).

Kebisingan dibangkitkan pula oleh adanya gesekan. Gesekan pada dua material yang berbeda dalam gerakan luncur mempengaruhi energi *sound* dan *vibration* (Rorrer, 2002)

Persamaan gerakan kebisingan termasuk karena gaya *unbalance rotor*, gaya dari luar dan gaya dari dalam pada suatu bantalan secara umum dinyatakan dalam persamaan differensial sebagai berikut (Rho, et al, 2003):

$$m.\ddot{x} = m.e.\omega^2.\cos(\omega.t) + f_x + W$$

Persamaan ini merupakan persamaan differensial ordo dua tidak homogen. Komponennya terdiri dari massa dikalikan percepatan sama dengan gaya dari luar yang terdiri dari gaya sentrifugal karena unbalance ( $m.e.\omega^2$ ) ditambah gaya dari dalam ( $f_x$ ) dan gaya dari luar ( $W$ ).

Kuantifikasi kebisingan secara umum dinyatakan dalam *sound pressure level* dengan satuan Pa (Pascal).

### 2.3 Inspeksi kebisingan nirkabel

Informasi mengenai inspeksi kebisingan nirkabel untuk memonitor kondisi mesin masih sedikit, namun telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Wang dan kawan-kawan melakukan inspeksi

vibration inspeksi dengan menggunakan komersial *wired* dan *wireless inspection system* pada sebuah jembatan. Hasil inspeksi menunjukkan bahwa terdapat kecocokan hasil antara data inspeksi *cabl based and wireless system* (Wang et al, 2006).

*Wireless vibration inspection* diterapkan pada *rotating equipment* dapat memperbaiki pemeliharaan berkala dan mencegah berhentinya mesin yang tidak dikehendaki, sehingga meningkatkan keandalan dan keselamatan kerja (Culham, 2013).

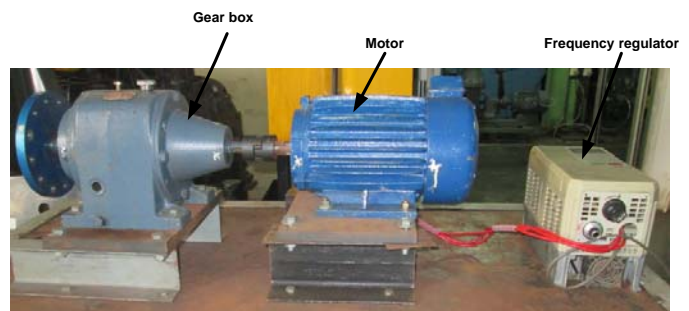
Karena antara vibrasi dan kebisingan memiliki karakteristik yang sama, maka inspeksi kebisingan baik nirkabel atau kabel memiliki peluang yang sama untuk dapat digunakan untuk menentukan kondisi mesin. *Wireless noise inspection* informasinya juga masih sedikit.

## 3. Metodologi Inspeksi

### 3.1 Obyek inspeksi

Obyek Inspeksi yang digunakan adalah sebuah 3.5 kWatt, dengan rasio putaran 1:5.

Dalam percobaan ini dilakukan dengan 5 (lima) pada beban tetap.



Gbr. 1, Obyek kotak roda gigi

### 3.2 Instrumentasi dan Sistem data akuisisi

Inspeksi dilakukan dengan sistem kabel sebagai *validator*, dan inspeksi dengan sistem *wireless* merupakan hal yang akan diuji validitasnya.

Instrumentasi Inspeksi kebisingan menggunakan ICP *microphone* BAST YG 201 07067 dengan sensitifitas 49.5 mV/Pa dan *frequency range* 20Hz-100kHz (GST,2010). Data akuisisi yang digunakan Sinocera YE 6231 *Dynamic Signal Analyzer 4 Channels* dengan *sampling rate* 96.0 kHz setiap *channel*.

Pengolahan dan penyimpanan data dengan menggunakan *software* YE 7600. Untuk melakukan *advanced analysis* menggunakan Mathlab™. Instrumentasi dan sistem data akuisisi inspeksi kebisingan nirkabel menggunakan *microphone* dan *transmitter* serta *receiver*, tipe *modulation frequency* (FM), *frequency response* 80-12500Hz output, *impedance* 600 Ohm, *operating voltage* 9V untuk *transmitter* dioperasikan pada 1.5V. *Receiver* juga dihubungkan dengan data akuisisi *Sinocera 4 channels*. Penyimpanan dan pengolahan data dasar menggunakan YE 7600. Pengolahan data selanjutnya juga menggunakan Mathlab™.

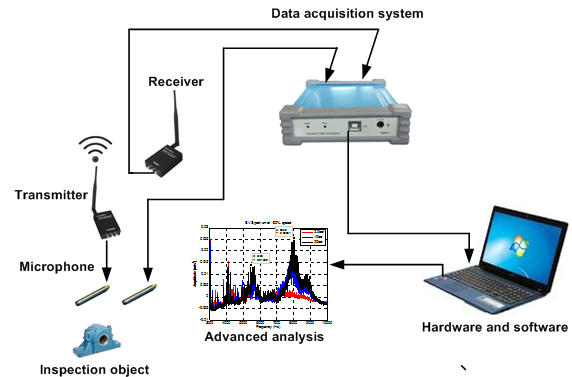
Pengambilan data kebisingan dari obyek inspeksi dilakukan dengan dua sistem sekaligus yaitu sistem yang menggunakan kabel langsung dan sistem yang menggunakan nirkabel. *Receiver* dari *microphone* yang menggunakan nirkabel dipasang pada *channel* nomer satu dan *microphone* yang menggunakan kabel dipasang pada *channel* nomor dua pada data kuisisi yang sama, selanjutnya dihubungkan dengan komputer.

Pengambilan dan penyimpanan data menggunakan komputer yang telah dilengkapi dengan *software* YE 7600. Selanjutnya data yang terkumpul diubah menjadi data mat untuk diolah dan dianalisis lebih jauh dengan pemrograman Mathlab™ yang disesuaikan dengan ruang lingkup dan kedalaman analisis dan tujuan inspeksi yang ditetapkan.

Pengolahan dan analisis data yang dibutuhkan yaitu analisa *amplitude*, *time domain*, *frequency domain* dan

*comparative* atas parameter Inspeksi yang meliputi perubahan kecepatan, baik secara kabel maupun secara nirkabel.

Skematik instrumentasi dan penyusunan data akuisisi Inspeksi gabungan antara nirkabel dan kabel ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



Gbr. 2, Skema sistem inspeksi kebisingan nirkabel dan melalui kabel

Analisa dilakukan dengan metode membandingkan hasil *wireless* dan *wire system* yang bertujuan untuk memvalidasi bahwa *microphone communication* dapat digunakan untuk inspeksi kebisingan pada mesin.

## 4. Hasil Inspeksi dan diskusi

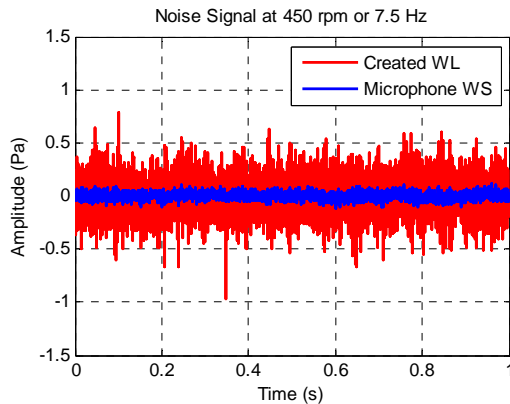
### 4.1 Metode inspeksi

Inspeksi kebisingan dilakukan pada kotak roda gigi dilakukan dengan variasi putaran yaitu 300/60 rpm, 450/90 rpm, 600/120 rpm dan 1000/200 rpm. Instrumen yang digunakan yaitu *created wireless* dan *standard wire microphone*. Alat ini disambungkan ke *data acquisition* saluran satu dan *created wireless* disambungkan ke *data acquisition* pada saluran dua.

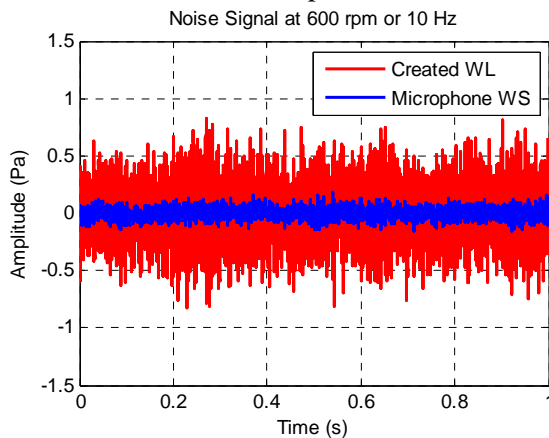
### 4.2 Sinyal hasil Inspeksi kebisingan pada kotak roda gigi

Hasil sinyal kebisingan dari *standard wire microphone* yang dibuat

(*created wireless*) ditunjukkan pada gambar berikut.



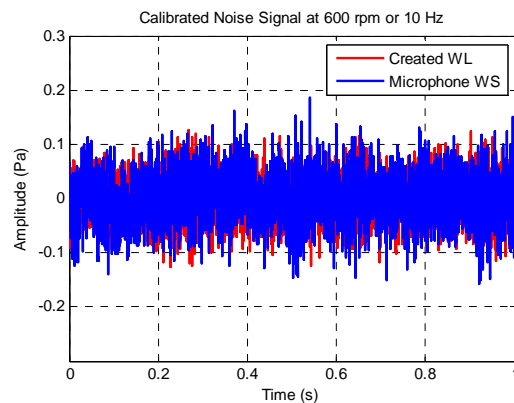
Gbr. 3, Sinyal kebisingan pada putaran 450/90 rpm



Gbr. 4, Sinyal kebisingan pada 600/120 rpm

Hasil Inspeksi sinyal atau *time domain* antara menggunakan *created wireless* dan *standard wire microphone* menunjukkan bahwa sinyal dari *created wireless* telah sesuai dengan sinyal kebisingan pada umumnya, begitu juga sinyal yang dihasilkan dari *standard wire microphone*. Selain dari pada itu besarnya amplitude sinyal kebisingan dari *created wireless* lebih tinggi bila dibandingkan dengan amplitude sinyal kebisingan *standard wire microphone* sehingga sinyal kebisingan dari *created wireless* diperlukan kalibrasi.

Sinyal kebisingan dari *created wireless* yang telah dikalibrasi ditunjukkan seperti gambar berikut.

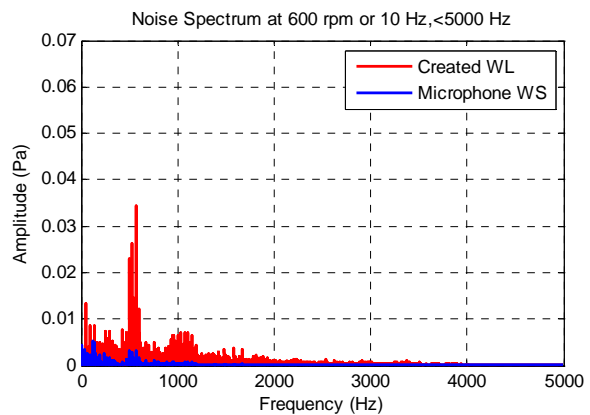


Gbr. 5, Sinyal kebisingan terkalibrasi pada putaran 600/120 rpm

Sinyal kebisingan yang telah diselaraskan menunjukkan bentuk dan karakteristik yang sama. Selain dari pada itu ketika beban dinaikkan, amplitude maksimum pada sinyal juga meningkat. Sinyal juga menunjukkan terjadi impuls yang fluktuatif.

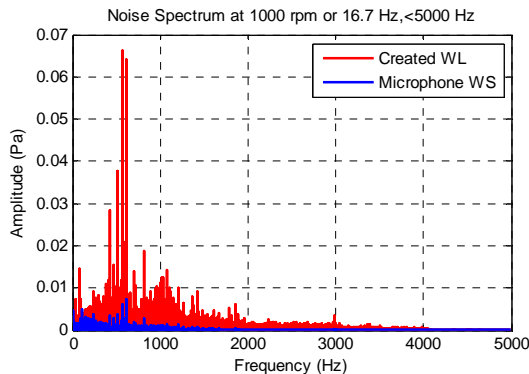
#### 4.3 Hasil pegujian spektrum

Spektrum hasil Inspeksi kebisingan pada kotak roda gigi ditunjukkan seperti pada gambar berikut:



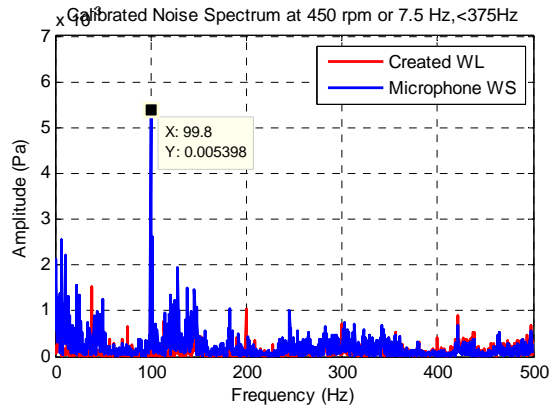
Gbr. 6, Spektrum kebisingan putaran 600/120 rpm pada 1-5000 Hz

Hasil Inspeksi spektrum atau *frequency domain* antara menggunakan *created wireless* dan *standard wire microphone* menunjukkan bahwa spektrum dari *created wireless* telah sesuai dengan spektrum kebisingan pada umumnya, begitu juga spektrum yang dihasilkan dari *standard wire microphone*. Selain dari pada itu besarnya amplitude peak spektrum kebisingan dari *created wireless* lebih tinggi bila dibandingkan dengan amplitude peak spektrum kebisingan *standard wire microphone* sehingga spektrum kebisingan dari *created wireless* diperlukan kalibrasi. Spektrum kebisingan dari *created wireless* yang telah dikalibrasi ditunjukkan seperti gambar berikut.

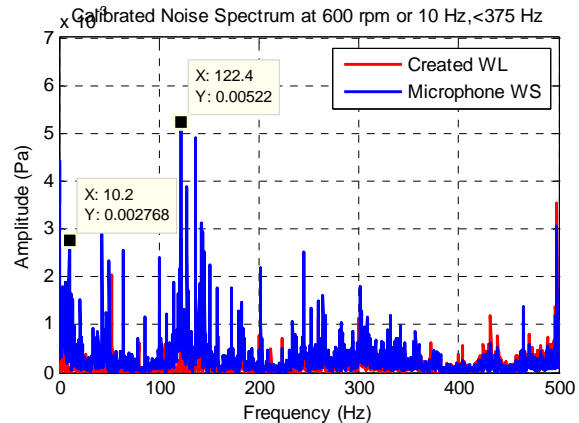


Gbr. 7, Spektrum kebisingan terkalibrasi putaran 1000/200 rpm pada 1-5000 Hz

Spektrum kebisingan yang telah diselaraskan menunjukkan bentuk dan karakteristik yang sama. Selain dari pada itu ketika kecepatan dinaikkan, amplitude peak atau maksimum pada spektrum juga meningkat. Spektrum yang terkalibrasi seperti gambar di atas menunjukkan bahwa pada putaran tinggi  $> 750$  Hz, menunjukkan pola yang sama, sedangkan pada frekuensi rendah terjadi perbedaan amplitude. Amplitudo tinggi terjadi pada frekuensi mendekati 500 Hz, diikuti pada frekuensi kurang lebih 100 Hz. Spektrum *created wireless* yang telah terkalibrasi pada frekuensi rendah  $<500$  Hz, ditunjukkan pada gambar berikut.



Gbr. 8, Perbandingan spektrum terkalibrasi pada 450 rpm rentang 1-375 Hz



Gbr. 9, Perbandingan spektrum terkalibrasi pada 600 rpm rentang 1-500 Hz

Pada frekuensi rendah kedua spektrum baik pada *created wireless* dan *communication wireless* menunjukkan sejenis tetapi amplitudonya berbeda. Dari sinyal dan spektrum di atas menunjukkan bahwa sinyal dan spektrum yang terjadi pada *created wireless* dan *standard wire microphone* telah sesuai dengan karakteristik kebisingan secara umum, namun keduanya pada frekuensi rendah tidak identik. Selain dari pada itu amplitude tertinggi terjadi pada frekuensi tinggi rata rata terletak pada 12-13 ff.

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan Inspeksi inspeksi kebisingan pada kotak roda gigi dengan putaran berubah dan beban tetap adalah sebagai berikut:

Sinyal (*time domain*) kebisingan telah sesuai dengan sinyal kebisingan yang diharapkan dan terjadi impulse yang fluktuatif. Setelah dilakukan penyetaraan sinyal dan spectrum telah sesuai dengan standar. Pada sinyal dan spectrum menunjukkan, semakin tinggi kecepatan, semakin tinggi amplitude yang terjadi. Amplitudo tertinggi terletak pada sekitar 12-13 *frequency fundamental*.

## 6. Daftar Pustaka

Barron, F., (2003), **Industrial Noise Control and Acoustic**, Marcel Dekker Inc, New York.

Baydar, N., Ball, A, (2001), Case History, **A Comparative Study of Acoustic and Vibration Signal in Detection of Gear Failures using Wigner-Ville Distribution**, Mechanical System and Signal Processing, Academic Press, pp. 1091-1107.

Cook, V., G., (2012), **Acoustic Inspeksi of Machine Tool Health Using Transmitted Sound**, Proceeding of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operation Management, Istanbul, Turkey, 3-6, pp. 1831-1839.

Culham, T., (2013), **Wireless Vibration Inspeksi, Improves Reliability and Enhances Safety**, Plant Maintenance, March-April, pp. 31-32.

GST, (2010), **General Purpose Piezoelectrics**, YD-5 4251, Unit 1, 26 Fairholme Rd, Manchester, M20 4NT, UK

Huskey, A, van Dam, J, M, 2010, **Wind Turbine Generator System Acoustic Noise Test Report for The ARE 442 Wind Turbine**, National Wind Technology Center, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.

Kim, M., Jang, G., Lee, C., dan Lim, D., (2010), **Experimental Identification of**

**Abnormal Noise and Vibration in a High Speed Polygon Mirror Scanner Motor due to Mechanical Contact of Plain Journal Bearing**, Springer Verlag, Microsystem Technology 16, pp. 3-8.

Metwally S. M., Khalil M. I., Abouel Seoud S. A., 2011, **Noise Evaluation of Automotive AC Compressor**, International Journal of Energy and Environment, Volume 2, Issue 3, pp. 505-515.

Raharjo, P, Tesfa, B, Gu, F dan Ball, A, D, (2012), **Comparative Study of the Inspeksi of a Self Aligning Spherical Journal Bearing using Surface Vibration, Airborne Sound and Acoustic Emission**, 25<sup>th</sup> International Congress on Condition Inspeksi and Diagnostic Engineering, IOP Publishing Journal of Physics Conference Series 364 (2012) 012035.

Ramroop, G., Liu, K, Gu, F, Payne S, Ball A. D, **Airborne Acoustic Condition Inspeksi of a Gearbox System**, Electronic Proceeding of the 5<sup>th</sup> Annual Maintenance and Reliability Conference, Gatlinburg, Tennessee, USA, May 2001.

Rho, B, H, Kim, D, G, Kim, K, W, (2003), **Noise Analysis of Oil Lubricated Journal Bearing**, Proceeding Institute of Mechanical Engineers, Volume 217, Part C, Mechanical Engineering Science.

Rorrer, R. dan Juneja. V., (2002), **Friction Induced Vibration and Noise Generation of Instrument Panel Material Pair**, Elsevier, Tribology International, No. 35, pp. 523-531.

Schenk, C., **Machine Diagnosis, Methods and Instruments for Analysing Machine Condition and for Early Recognition of Machine using Vibration Measurement**, Serie 40.

Wang, Y., Loh, K.,J., Lynch, J. P., Frase, M., Law, K., Elgamal., A, 2006, **Vibration Inspeksi of the Voight Bridge using Wired and Wireless Inspeksi System**, The Proceeding of 4<sup>th</sup> China-Japan-US Symposium on Structural Control and Inspeksi, October 16-17.