

Averaged logarithmic ratio of filtered vibration signal for wear indicator of gearbox

A. Widodo^{1,*}, D. Ogie Nugroho², I. Haryanto¹, Dj. Satrijo¹ dan T. Prahasto¹

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro – Semarang

²Prodi Sarjana, Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro – Semarang

*Corresponding author: awidodo2010@gmail.com

Abstract. Maintenance of machinery in industry is very important due to many benefits could be gained from reducing downtime of suddenly breakdown to improving reliability of the system. The continuous usage of machinery could cause degradation of the machinery from the normal condition. Therefore, machine condition monitoring is needed to early detect degradation condition impending in the machine. Gearbox is a machine element which needs monitoring to access its condition for maintenance purpose. Defects in gearbox usually are initialized by small wear on gear surface and sometime could not be recognized by operator. Hence, the research deals with development of defect indicator for gearbox using averaged logarithmic ratio (*ALR*) and moving averaged logarithmic ratio (*mALR*) of filtered vibration signal. The results show that *ALR* gives consistent values with respect to increasing wear in the gearbox. Nevertheless, the values of *mALR* tend to vary and fluctuate as increasing wear in the gearbox based on experimental data.

Abstrak. Perawatan mesin di industri merupakan kegiatan yang penting karena berguna untuk mengurangi waktu menganggur mesin akibat kerusakan secara tiba-tiba. Penggunaan mesin secara terus-menerus menyebabkan kondisi mesin mengalami degradasi dari kondisi normalnya. Oleh karena itu, pemantauan kondisi mesin diperlukan agar kondisi mesin selalu terpantau, sehingga kondisi degradasi dapat diketahui secara dini. Roda gigi adalah salah satu elemen mesin yang perlu dipantau kondisinya dalam rangka perawatan mesin. Kerusakan roda gigi umumnya diawali dengan keausan permukaan gigi yang terkadang tidak terpantau kondisinya oleh operator mesin. Penelitian ini membahas indikator kerusakan roda gigi dengan memantau nilai rerata rasio logaritmik (*averaged logarithmic ratio-ALR*) dan rerata rasio logaritmik bergerak (*moving averaged logarithmic ratio-mALR*) dari sinyal getaran terfilter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *ALR* naik secara konsisten seiring dengan naiknya tingkat keausan pada roda gigi, sedangkan nilai *mALR* cenderung bervariasi terhadap naiknya keausan pada roda gigi. Dengan demikian nilai *ALR* dapat dijadikan sebagai indikator untuk mengetahui kondisi keausan roda gigi melalui sinyal getaran yang terfilter.

Keywords: roda gigi, perawatan prediktif, sinyal getaran, *time synchronous averaging*

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pada dasarnya mesin-mesin bersifat *run to break* artinya mesin tersebut akan terus beroperasi hingga tidak bisa digunakan lagi. Untuk mesin-mesin dengan nilai investasi kecil dan dampak kerusakan terhadap produksi juga kecil, maka modus *run to break* tidak begitu membawa masalah serius. Tetapi jika berkaitan dengan mesin-mesin dengan nilai investasi yang besar dan berdampak serius jika terjadi kerusakan tiba-tiba, maka modus *run to break* tidak boleh diterapkan. Perawatan merupakan suatu fungsi dalam suatu industri manufaktur yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lain seperti produksi. Perawatan merupakan kegiatan pendukung bagi kegiatan komersil, sehingga perawatan harus efektif, efisien, dan berbiaya rendah. Dengan adanya kegiatan perawatan ini,

maka mesin produksi dapat digunakan sesuai dengan rencana dan tidak mengalami kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah direncanakan [1].

Perawatan merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan, pengukuran, dan pemeriksaan fasilitas yang dirawat. Di industri, perawatan dilakukan agar kegiatan produksi tidak terganggu dengan adanya alat-alat produksi yang berhenti (rusak), sehingga menyebabkan kerugian yang besar [2].

Sebuah mesin yang beroperasi pada kondisi normal memiliki ciri tertentu. Kerusakan yang terjadi akan mengubah dari ciri mesin tersebut berdasarkan kerusakan yang terjadi. Mesin yang sedang beroperasi akan menimbulkan getaran yang berasal dari gerakan periodik pada poros, roda gigi,

putaran medan listrik dan lainnya. Frekuensi yang sering berulang tersebut memberikan indikator untuk jenis kerusakan yang ada, oleh karena itu teknik mendiagnosa kerusakan dapat dilakukan dengan analisis getaran.

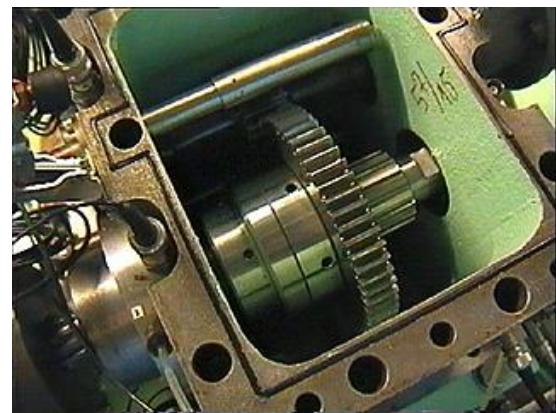
Roda gigi adalah salah satu komponen mesin yang banyak digunakan dalam sistem transmisi daya. Roda gigi juga merupakan komponen pengubah tingkat putaran poros pada mesin yang dapat mengurangi dan menaikan kecepatan tergantung pada desain transmisi roda gigi. Roda gigi meneruskan daya dari motor melalui mekanisme kontak antar gigi-gigi pada *gear* dan gigi-gigi pada *pinion*. Dengan mekanisme ini, tidak mungkin terjadi slip selama proses transmisi daya berlangsung. Kerusakan atau cacat roda gigi dapat terjadi dalam jangka waktu tertentu. Setiap kerusakan kecil pada roda gigi akan menyebabkan kegagalan pada mesin dan menyebabkan kerugian besar dalam hal waktu dan biaya. Dengan melakukan deteksi dini kerusakan roda gigi dapat mengurangi kerugian tersebut. Salah satu cara mendeteksi dini kerusakan adalah dengan menganalisis sinyal getaran yang dihasilkan roda gigi [3].

Salah satu bentuk kerusakan roda gigi adalah terjadinya keausan. Keausan pada roda gigi adalah fenomena yang tak terhindari dan memiliki pengaruh yang cukup merugikan. Meskipun analisis getaran telah banyak digunakan untuk mendiagnosa kerusakan pada roda gigi, namun pemantauan keausan roda gigi masih belum baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan indikator getaran dalam mengevaluasi efek keausan pada roda gigi. Pada penelitian ini, pengolahan sinyal menggunakan metode *time synchronous averaging* (TSA). Indikator yang digunakan adalah averaged logarithmic ratio (*ALR*) dan moving averaged logarithmic ratio (*mALR*), untuk memberikan informasi dalam pemantauan keausan roda gigi. Indikator *ALR* adalah ukuran penyimpangan keadaan roda gigi dari kondisi awal. Indikator *mALR* mewakili perubahan keadaan roda gigi dalam dua pengukuran berturut-turut. Biasanya, *mALR* yang rendah menunjukkan keausan pada roda gigi berjalan lambat. Kedua indikator ini yang akan digunakan dalam pemantauan keausan pada roda gigi [4].

Material dan Metode Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari data akuisisi sinyal getaran sistem roda gigi (*gearbox*) dengan jumlah gigi *gear* 57 dan *pinion* 15. Sistem digerakkan oleh motor 3 fasa, 55 kW dengan beban sebuah generator DC 54,3 kW. Sensor akselerometer sebanyak 8 buah digunakan

untuk merekam data getaran dipasang pada 4 buah posisi bantalan masing-masing dengan arah vertical dan horizontal seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Satu buah sensor *tachometer* digunakan untuk merekam data putaran poros output. Data akuisisi dilakukan secara simultan pada setiap kanal input dengan sampling frekuensi 25 kHz.



Gambar 1. Akselerometer pada sistem roda gigi

Time synchronous averaging (TSA). TSA adalah teknik pengolahan sinyal yang mengekstrak *waveform* dari data *noisy*. TSA dipandang tepat/sesuai untuk menganalisis *gearbox* karena mampu memisahkan sinyal getaran roda gigi dengan sinyal lainnya [5]. Pers. 1 menunjukkan sinyal roda gigi TSA yang dimodelkan sebagai penjumlahan modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi [6].

$$x(t) = \sum_{k=1}^K X_k [1 + a_k(t)] \cos[2\pi k N f_1 + \phi_k + b_k(t)] \quad (1)$$

dimana X_k adalah amplitudo frekuensi gear mesh (GMF) ke- k , f_1 frekuensi GMF, N jumlah gigi, ϕ_k fasa awal, $a_k(t)$ fungsi modulasi amplitudo, $b_k(t)$ fungsi modulasi fasa [4].

Root mean square (RMS). RMS merupakan akar dari nilai rata-rata dari suatu fungsi yang dikuadratkan. RMS merupakan ciri yang dapat mengukur komposisi karakteristik energi dari sinyal getaran. Ciri ini baik dalam mengidentifikasi tingkat *noise* secara keseluruhan, tetapi tidak menyediakan informasi apapun tentang lokasi komponen yang rusak. Pers. 2 digunakan untuk menghitung nilai RMS [7].

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2} \quad (2)$$

Side band ratio (SBR). Side band adalah suatu sinyal yang timbul akibat suatu modulasi, dan mengambil tempat selebar *spectrum* frekuensi. SBR adalah rasio perbedaan antar gigi pada roda gigi dan rata-rata kerja permukaan dari GMF pada gigi tertentu. SBR dapat dirumuskan sesuai Pers. 3, dimana SBR_k adalah side band ratio pada meshing harmonic ke- k , RMS_k adalah root mean square ke- k dan X_k adalah amplitudo GMF ke- k [4].

$$SBR_k = \frac{[RMS_k]^2}{X_k^2}, k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

ALR dan mALR. Keausan roda gigi akan menyebabkan penyimpangan yang semakin meningkat pada permukaan kerja rata-rata dari keadaan semula, dan akan mengubah perbedaan gigi-gigi, dan dengan demikian vektor SBR pada waktu ke- i (SBR_i) pada keadaan roda gigi akan berubah. Dengan mengasumsikan bahwa keadaan roda gigi awal ditunjukkan oleh vektor SBR_0 , maka selisih antara vektor SBR_i dan SBR_0 menunjukkan perubahan pada keadaan roda gigi. Perlu dicatat bahwa respon semua elemen vektor keadaan ini terhadap keausan gigi bisa sangat berbeda. Untuk memberikan deskripsi yang dapat digunakan dalam pemantauan keausan maka ALR dan mALR dijadikan indikator untuk hal tersebut. Pers. 4 dan 5 menunjukkan persamaan ALR dan mALR.

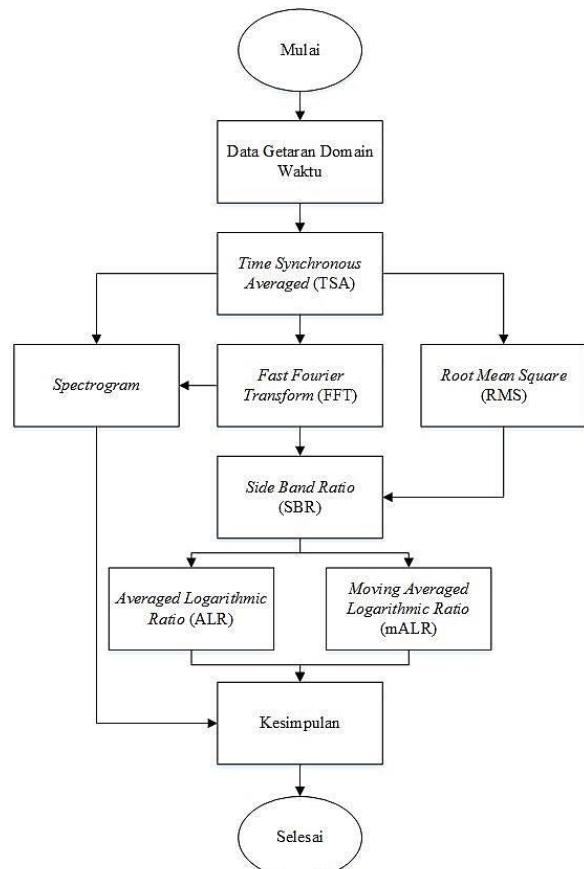
$$ALR_{i,0} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left| \ln \frac{SBR_{i,k}}{SBR_{i,0}} \right| \quad (4)$$

$$mALR_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left| \ln \frac{SBR_{i,k}}{SBR_{i-1,k}} \right| \quad (5)$$

Metodologi pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2 yang berisi diagram alir pelaksanaan penelitian. Pengujian dilakukan pada *gearbox* dimana roda giginya sudah diberi keausan awal disertai pembebahan oleh generator. Data akuisisi dilakukan setiap 5 jam dengan waktu akuisisi 80 detik selama 8 kali akuisisi. Data sinyal getaran berupa sinyal domain waktu diproses dengan TSA. Selanjutnya hasil sinyal TSA digunakan untuk mencari *RMS*, menentukan domain frekuensi melalui perhitungan FFT dan *spectrogram*.

Setelah mendapatkan sinyal domain frekuensi, selanjutnya dicari nilai amplitudo pada frekuensi *gear* (*GMF*) tertentu (X_k). Nilai X_k dan *RMS* yang sudah didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung side band ratio (*SBR*). *SBR* digunakan untuk menghitung nilai *ALR* dan *mALR*. Setelah

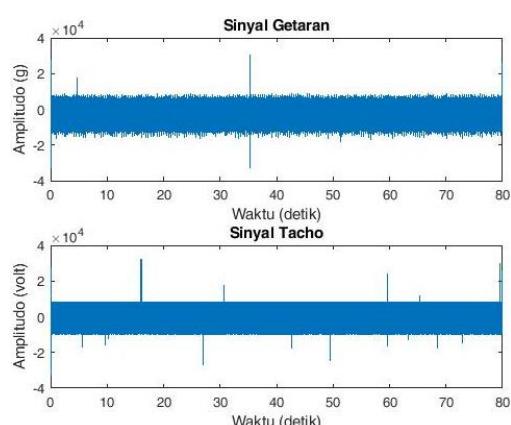
nilai *ALR* dan *mALR* didapatkan langkah selanjutnya adalah menganalisis nilai-nilai tersebut dihubungkan dengan kondisi roda gigi.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

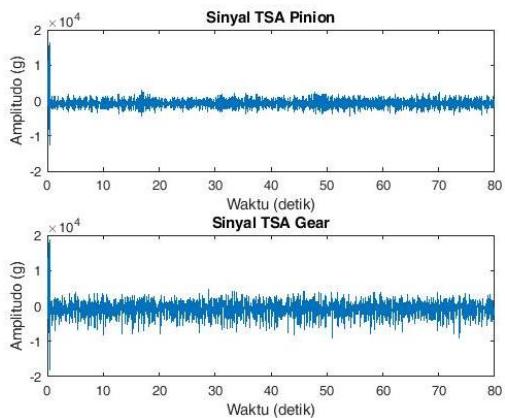
Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran sinyal getaran dan tachometer pada *test rig* untuk pengujian 1 (kondisi normal) ditunjukkan pada Gambar 3. Sinyal domain waktu dengan sampling yang tinggi biasanya sulit untuk dianalisis tanpa menggunakan bantuan statistik. Hampir tidak bisa dibedakan antara sinyal kondisi roda gigi normal dan kondisi aus.



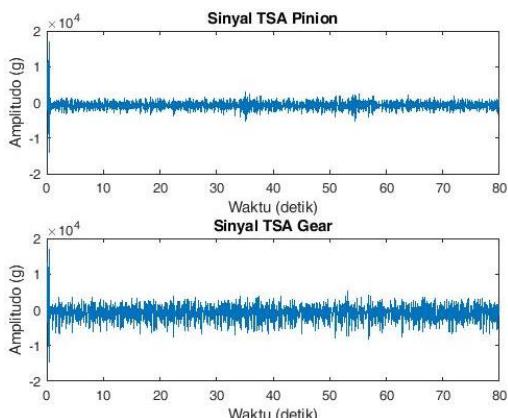
Gambar 3. Sinyal getaran dan tachometer pada pengujian ke-1 (kondisi normal)

Penggunaan TSA ditujukan untuk memisahkan sinyal roda gigi dan derau yang menyertai sinyal tersebut. Derau menyebabkan distorsi sinyal asli roda gigi karena tercampur dengan sinyal-sinyal lain. Karena itu derau harus diminimalkan agar analisis sinyal roda gigi menjadi lebih baik. Hasil TSA pada sinyal kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 4.



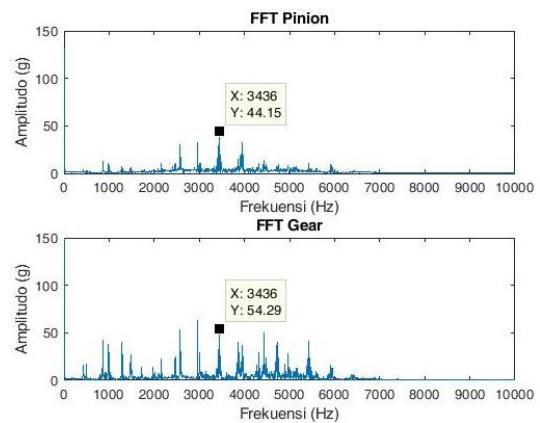
Gambar 4. TSA sinyal getaran kondisi normal

Gambar 5 menunjukkan TSA dari sinyal getaran dimana kondisi aus sudah mulai terlihat pada gear. Namun demikian, secara umum observasi sinyal domain waktu tidak bisa membedakan kondisi roda gigi normal dan aus. Meskipun ada perbedaan amplitudo, nilainya terlalu kecil untuk bisa dijadikan indikator adanya keausan.

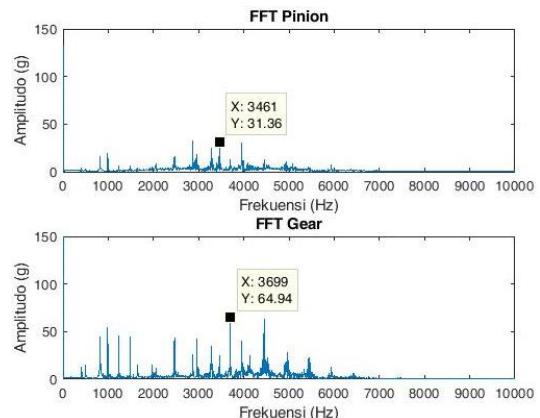


Gambar 5. TSA sinyal getaran kondisi aus

Analisis domain frekuensi melalui FFT menghasilkan Gambar 5 dan 6, dimana hasilnya dapat dikatakan mirip sehingga kurang bisa membedakan kondisi roda gigi normal dan aus. Puncak dominan FFT memberikan nilai yang mirip juga besar nilai amplitudonya. Oleh sebab itu, perlu metode lain sedemikian hingga keausan pada roda gigi dapat diekspose melalui parameter yang cukup sensitif menampilkan perbedaan nilai terkait kondisi roda gigi.



Gambar 5. FFT sinyal getaran kondisi normal

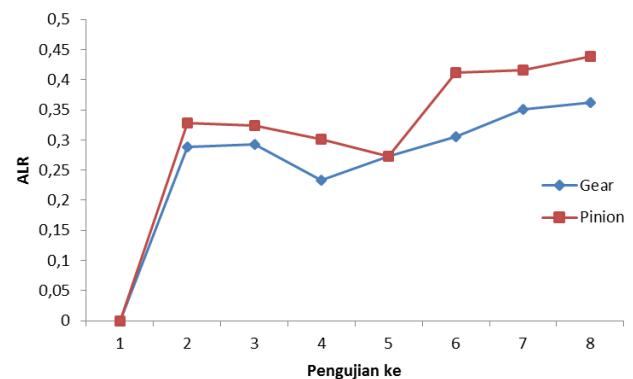


Gambar 6. FFT sinyal getaran kondisi aus.

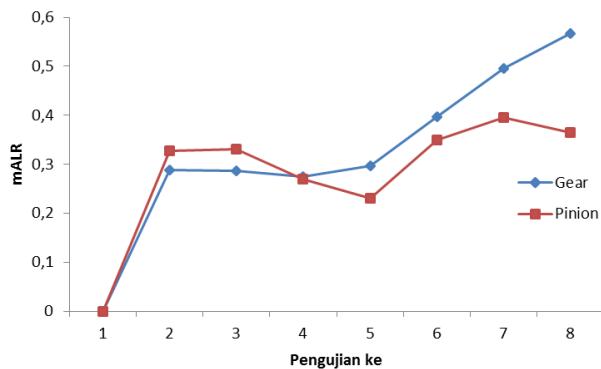
Untuk mengetahui nilai *ALR* maupun *mALR*, sebelumnya harus dihitung dahulu nilai *RMS* dari pengujian awal sampai pengujian terakhir. Setelah mendapatkan nilai *RMS*, tahap selanjutnya adalah menghitung *SBR*. Sebagai ilustrasi perhitungan *SBR* pinion ke-1 sebagai berikut:

$$SBR_{pinion1} = \frac{1436,0^2}{44,15^2} = 1058$$

Selanjutnya perhitungan *ALR* dan *mALR* dilakukan untuk seluruh data pengujian dengan Pers. 4 dan 5 menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Nilai *ALR* pada *gear* dan *pinion*



Gambar 8. Nilai *mALR* pada *gear* dan *pinion*

Gambar 7 menunjukkan *trend* yang konsisten dari nilai *ALR* dari pengujian ke-1 sampai dengan ke-8. Secara bertahap nilai *ALR* naik seiring dengan semakin buruknya kondisi keausan yang terjadi pada roda gigi. Pada nilai *mALR* di Gambar 8 terlihat juga kenaikan nilai *mALR* pada gear secara konsisten, tetapi pada pinion nilai ini kurang konsisten pada pengujian ke-5 nilainya turun kemudian naik kembali. Secara umum dari kedua hasil grafik tersebut di atas terlihat bahwa *ALR* lebih baik dalam menampilkan *trend* kondisi roda gigi dari normal menuju aus, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Hu, dkk. [4].

Kesimpulan

Pemantauan kondisi roda gigi dapat dilakukan dengan metode getaran. Informasi yang diperoleh dari sinyal getaran terfilter melalui TSA saja belum mampu membedakan kondisi roda gigi normal dan aus. Hal yang mirip juga ditunjukkan dengan hasil FFT getaran pada kondisi pengujian terkait.

Penelitian ini menghasilkan indikator yang berguna untuk memantau kondisi roda gigi yaitu *ALR*. *ALR* mampu menangkap trend kondisi roda gigi yang berkembang mulai dari kondisi normal sampai kondisi aus dengan konsisten. Dilain pihak, nilai *mALR* berfluktuasi sehingga kurang mampu menampilkan *trend* kondisi roda gigi dengan konsisten.

Penghargaan

Ucapan terimakasih kepada GIPSA Lab., Perancis yang telah menyediakan data-data penelitian melalui project *GOTIX test bench*. Terimakasih juga diucapkan kepada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang menyediakan dana penelitian melalui Hibah Bersaing RKAT tahun 2018.

Referensi

- [1] Randall R., 2010. Vibration-based Condition Monitoring. John Wiley & Sons, Chichester.
- [2] Arsyad M, dan Sultan A., 2018. Manajemen Perawatan, Deepublish, Yogyakarta.
- [3] Dalpiaz G, Rivola A, Rubini R., 2000. Gear Fault Monitoring: Comparison of Vibration Analisys Techniques. Mechanical System and Signal Processing 3, 387-412.
- [4] Hu C, Smith W A, Randall R B, Peng Z., 2016. Development of A Gear Vibration Indicator and Its Application in Gear Wear Monitoring. Mechanical System and Signal Processing 76-77, 319-336.
- [5] Bechhoefer E, Kingsley M., 2009. A Review of Time Synchronous Average Algoirthms. Annual Conference of The Prognostics and Healt Management Society, 1-10.
- [6] McFadden PD., 1986. Detecting Fatigue Cracks in Gears by Amplitude and Phase Demodulation of The Meshing Vibration. Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design 108, 165-170.
- [7] Bird J., 2005. Basic Engineering Mathematic. Elsevier.