



Studi Eksperimental Getaran Sistem Poros-Rotor Akibat *Imbalance*

Experimental Study of Vibration of Shaft-Rotor System Due to Imbalance

Asmara Yanto

Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

Received 10 September 2017; Revised 18 September 2017; Accepted 20 September 2017, Published 31 October 2017
<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2017.V7.88-94>

Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)

*Correspondence should be addressed to asmarayanto@itp.ac.id

Copyright © 2017 A. Yanto. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

In this study, vibration of shaft-rotor system as a part of rotating machinery prototype due to imbalance has been monitored, processed and analyzed by a dynamic signal analyzer virtual instrument (DSA VI). The rotating machinery prototype consists of an AC induction motor, a pulley-belt system, and a shaft-rotor system supported by two bearings. Two discs were placed between two bearing housings. On both discs are added and placed additional mass as unbalance mass on shaft-rotor system. Unbalance mass placement is varied with different of angle orientations i.e. 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° and 180° between on both discs. DSA VI consists of four micro-electro-mechanical system (MEMS)-based accelerometers type ADXL335 that placed on the bearing housings, a data acquisition device and a data analyzer device. The four accelerometers serve to convert the mechanical quantities of measured vibration acceleration into electrical quantities in mV. Vibration signal in mV is acquired by the data acquisition device. Data sampling rate is set at control panel of the data analyzer device. Measurable vibrations in the time domain are displayed by the data analyzer device in a computer. Vibration in time domain is transformed into frequency domain by using fast fourier transform (FFT) method. From this experimental study of vibration of shaft-rotor system due to imbalance obtained the highest vibration amplitude for unbalance mass placement with different of angle orientation is 30° between on both discs. If unbalance mass placement with different of angle orientation is greater than 30° between on both discs, then amplitude of vibration due to imbalance will decreases.

Keywords: shaft-rotor system, imbalance, vibration, fast fourier transform, amplitude

1. Pendahuluan

Di dunia industri modern, khususnya industri yang memproduksi suatu produk, kondisi mesin dan struktur penunjang yang ada sangat mempengaruhi semua aspek produksi. Sebagian besar mesin di industri ini adalah mesin rotari [1-2]. Dalam beroperasi, mesin rotari mengalami getaran yang timbul akibat transfer gaya siklik melalui elemen-elemen mesin yang ada [3]. Di sini, elemen-elemen mesin tersebut saling beraksi satu sama lain dan energi didesipasi melalui struktur dalam bentuk getaran.

Getaran mesin dapat menyebabkan umur mesin lebih pendek, menurunkan kualitas produk yang dihasilkan dan menyebabkan mesin mati tiba-tiba [4-5]. Di antara penyebab getaran pada mesin rotari adalah adanya ketidak-seimbangan (*imbalance*) pada elemen mesin [6], terdapat ketidak-sesumbuan poros penggerak dengan poros yang digerakkan (*misalignment*) [7-10], adanya elemen mesin yang mengalami keausan (*wear*) [11] dan terdapat hubungan/sambungan yang longgar (*loose connections*) [12-14].

S. N. Ganeriwala, dkk. [15] telah menyelidiki penggunaan *operational deflection shape (ODS)* dari mesin yang berputar untuk mendeteksi *imbalance* dalam komponen mesin rotari. Hasil dari penyelidikan ini memberikan metode baru untuk mendeteksi adanya *imbalance* pada mesin dan menawarkan pendekatan yang disederhanakan untuk mendeteksi kesalahan *on-line* pada mesin rotari yang beroperasi. R. Walker, dkk. [16] telah membuat sebuah simulator kesalahan mesin mutakhir yang digunakan untuk menciptakan berbagai kesalahan *imbalance* yang telah dipelajari secara rinci dari perspektif lokalisasi kesalahan. A. Yanto dan R. Hidayat [17] telah menganalisa pola getaran yang diakibatkan oleh massa tak seimbang pada model sistem poros-rotor 3D.

Pada penelitian ini, getaran sistem poros-rotor sebagai sebuah prototipe mesin rotari yang bergetar akibat *imbalance* diakuisisi, dimonitor, diolah dan dianalisis dengan sebuah *dynamic signal analyzer virtual instrument (DSA VI)* [18]. Prototipe mesin rotari terdiri atas sebuah motor induksi AC, sistem puli-sabuk, dan sistem poros-rotor yang ditumpu oleh dua buah bantalan. Dua buah piringan ditempatkan di antara dua buah rumah bantalan penumpu poros. Pada kedua piringan ditambahkan dan ditempatkan massa tambahan

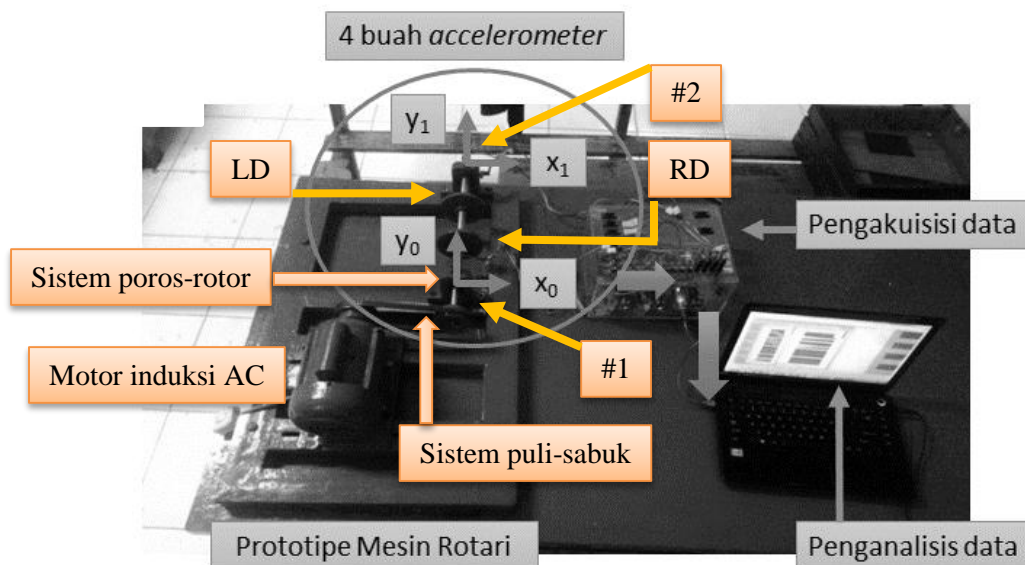
sebagai massa tak seimbang pada sistem poros-rotor. Penempatan massa tak seimbang pada kedua piringan divariasikan dengan perbedaan orientasi sudut yang bervariasi yaitu sebesar 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° dan 180° .

2. Metode

Bagian ini memaparkan secara ringkas tentang setup pengujian, pengambilan data dan metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini.

A. Setup Pengujian

Prototipe mesin rotari yang terdiri atas sebuah motor induksi AC, sistem puli-sabuk, dan sistem poros-rotor diperlihatkan pada Gambar 1. Motor induksi AC sebagai sumber daya penggerak mesin mempunyai putaran sebesar 1440 RPM. Pada sistem puli-sabuk, satu puli penggerak dipasang pada motor dan satu puli lainnya yang digerakkan dipasang pada poros. Kedua puli ini dihubungkan dengan sebuah sabuk V. Sistem puli-sabuk berperan sebagai sistem pentransmisi daya dari motor ke sistem poros-rotor. Sistem poros-rotor terdiri dari sebuah poros dengan dua buah piringan yaitu *right disk (RD)* dan *left disk (LD)* yang ditumpu dengan bantalan #1 dan bantalan #2.



Gambar 1. Sistem poros-rotor pada prototipe mesin rotari dan perangkat *DSA VI* (4 buah *accelerometer*, pengakuisisi data dan penganalisis data).

B. Pengambilan Data

Getaran sistem poros-rotor diakuisisi, dimonitor, diolah dan dianalisis dengan *DSA VI* yang terdiri atas: 4 (empat) buah sensor percepatan berupa *accelerometer* berbasis *micro-elektro-mechanical system (MEMS)* jenis *ADXL335* yang ditempatkan pada rumah

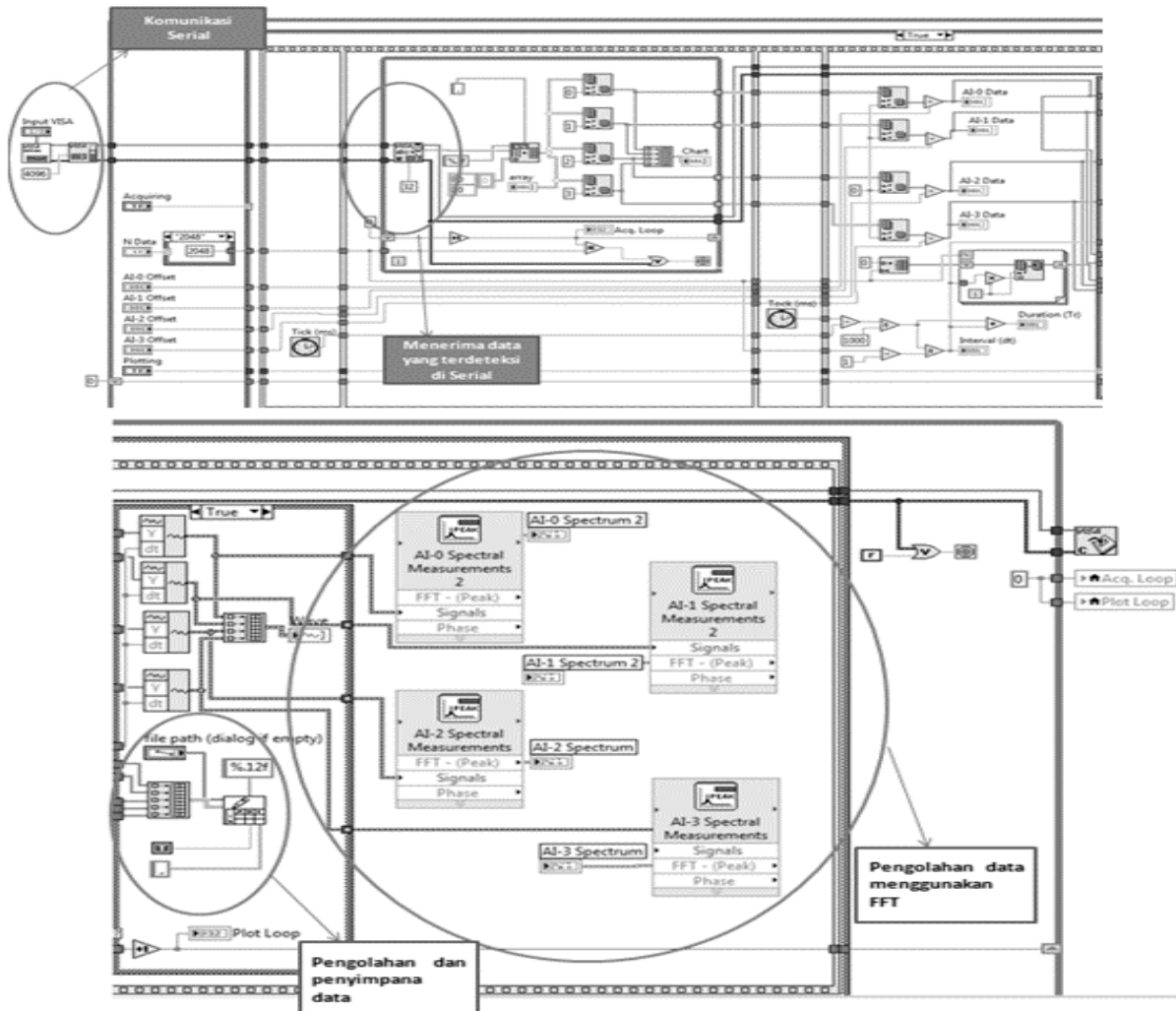
bantalan, perangkat pengakuisisi data dan perangkat pengolah data. Keempat *accelerometer* berfungsi untuk mengubah besaran mekanis berupa percepatan getaran yang terukur kedalam besaran elektrik dalam mV. Sinyal getaran dalam mV ini diakuisisi oleh perangkat pengakuisisi data. Laju

pengambilan data (*sampling rate*) diatur pada panel kontrol yang terdapat pada perangkat penganalisis data.

Getaran sistem poros-rotor yang diukur pada rumah bantalan #1 dinotasikan dengan sinyal x_0 untuk getaran arah horizontal dan sinyal y_0 untuk getaran arah vertikal. Demikian juga untuk getaran yang diukur pada rumah bantalan #2 dinotasikan dengan sinyal x_1 untuk getaran arah horizontal dan sinyal y_1 untuk getaran arah vertikal.

C. Metode Analisis Data

Getaran yang terukur dalam domain waktu ditampilkan oleh perangkat penganalisis data pada komputer. Getaran dalam domain waktu ditransformasi ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan metode fast fourier transform (FFT) [19-22]. Metode FFT ini termuat pada diagram blok pada bagian perangkat lunak penganalisis data sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok pada bagian perangkat lunak penganalisis data [14].

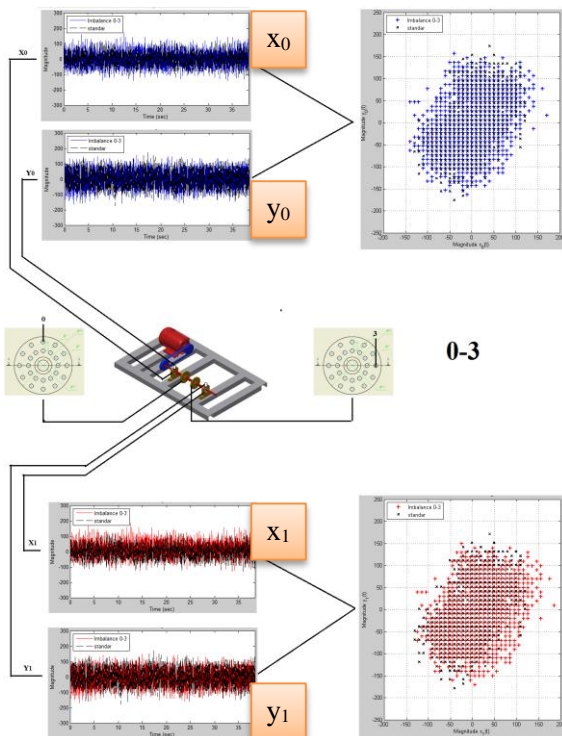
3. Hasil dan Pembahasan

Salah satu hasil pengukuran getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan massa tak seimbang (MU) pada RD dan LD diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pada Gambar 3 dan Gambar 4, masing-masing memperlihatkan contoh getaran akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 90° dan 180° . Setiap pengujian dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° dan 180° dilakukan masing-masing sebanyak 5 kali.

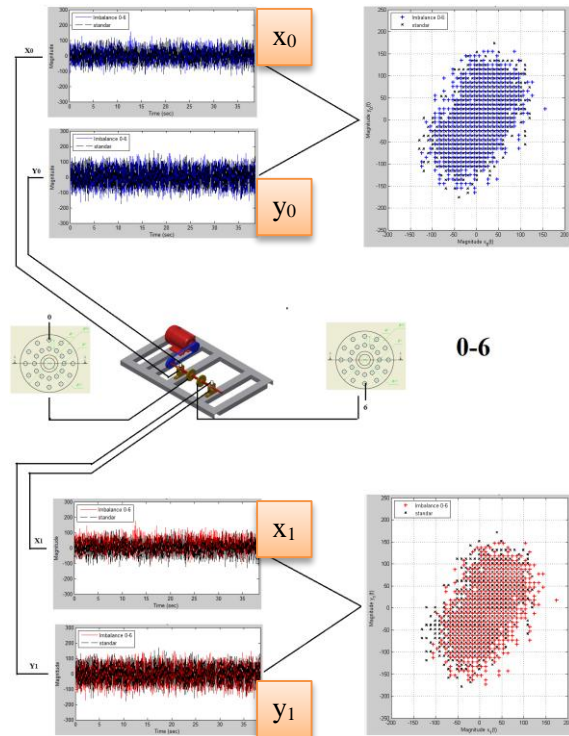
Besaran frekuensi dalam satuan Hz dan besaran amplitudo dalam satuan mV untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* searah sumbu-x dan searah sumbu-y untuk setiap pengujian dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7.

Pada pengujian dengan MU di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 0° , getaran sistem poros-rotor yang terukur pada rumah bantalan #1 dan #2 memiliki spektrum getaran dengan satu amplitudo dominan di frekuensi satu kali

putaran motor atau 1xRPM (24.76 Hz). Nilai amplitudo getaran dalam besaran elektriknya yaitu sebesar 43,90 mV untuk getaran searah sumbu-x dan 14,89 mV untuk getaran searah sumbu-y.



Gambar 3. Getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan massa tak seimbang pada RD dan LD berbeda orientasi 90°.



Gambar 4. Getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan massa tak seimbang pada RD dan LD berbeda orientasi 180°.

Pada pengujian dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 30°, 60°, 90°, 120°, 150° dan 180°, getaran sistem poros-rotor yang terukur pada rumah bantalan #1 dan #2 juga memiliki spektrum getaran dengan satu amplitudo dominan di frekuensi 1xRPM

Tabel 1. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 0°.

Tanpa MU				Dengan MU 0-0			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.72	43.90	24.72	43.90
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.72	14.89	24.72	14.89

Tabel 2. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 30°.

Tanpa MU				Dengan MU 0-1			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.70	51.12	24.70	51.12
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.70	15.62	24.70	15.62

Tabel 3. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 60° .

Tanpa MU				Dengan MU 0-2			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.58	40.75	24.58	40.75
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.58	15.27	24.58	15.27

Tabel 4. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 90° .

Tanpa MU				Dengan MU 0-3			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.61	37.89	24.61	37.89
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.61	14.71	24.61	14.71

Tabel 5. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 120° .

Tanpa MU				Dengan MU 0-4			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.71	31.84	24.71	31.84
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.71	12.83	24.71	12.83

Tabel 6. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 150° .

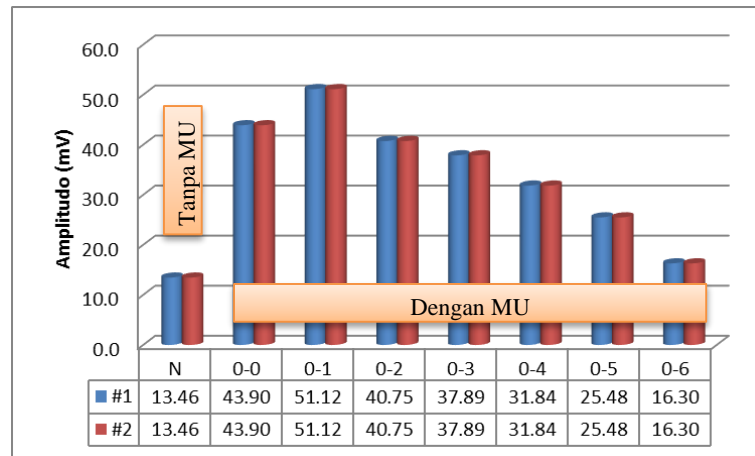
Tanpa MU				Dengan MU 0-5			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.75	25.48	24.75	25.48
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.75	11.98	24.75	11.98

Tabel 7. Hasil analisis getaran x_0 , y_0 , x_1 , dan y_1 dengan metode FFT untuk getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 180° .

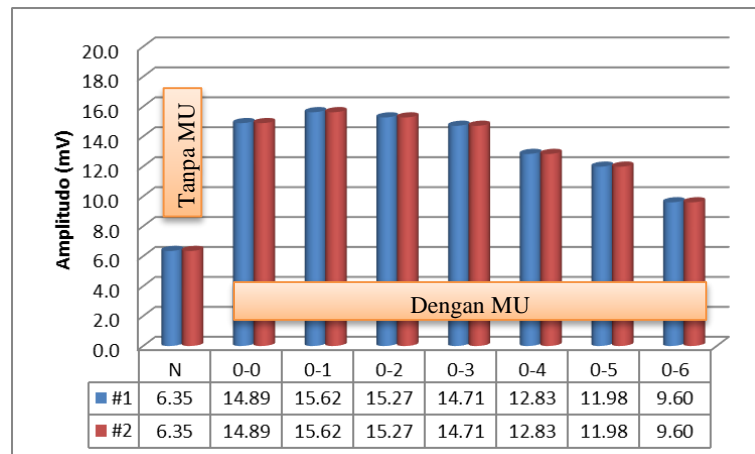
Tanpa MU				Dengan MU 0-6			
Getaran x_0		Getaran x_1		Getaran x_0		Getaran x_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	13.46	24.76	13.46	24.74	16.30	24.74	16.30
Getaran y_0		Getaran y_1		Getaran y_0		Getaran y_1	
f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)	f (Hz)	A (mV)
24.76	6.35	24.76	6.35	24.73	9.60	24.73	9.60

Perbandingan amplitudo getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* pada rumah bantalan #1 dan #2 searah sumbu-x dapat dilihat pada Gambar 5. Sedangkan pada

Gambar 6 diperlihatkan perbandingan amplitudo getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* pada rumah bantalan #1 dan #2 searah sumbu-y.



Gambar 5. Perbandingan amplitudo getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* pada rumah bantalan #1 dan #2 searah sumbu-x.



Gambar 6. Perbandingan amplitudo getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* pada rumah bantalan #1 dan #2 searah sumbu-y.

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa amplitudo getaran rata-rata searah sumbu-x dan sumbu-y yang tertinggi yaitu pada getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* dengan MU antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 30° . Amplitudo getaran akibat *imbalance* semakin menurun untuk penempatan massa tak seimbang antara di RD dan di LD berbeda orientasi lebih besar dari 30° . Hal ini dikarenakan gaya sentrifugal oleh MU saling mengurangi karena perbedaan arah positif dan negatif pada proyeksinya di sumbu x-y.

4. Simpulan

Dari analisis getaran eksperimental getaran sistem poros-rotor akibat *imbalance* diperoleh amplitudo getaran tertinggi pada penempatan massa tak seimbang antara di RD dan di LD berbeda orientasi sebesar 30° . Amplitudo

getaran akibat *imbalance* semakin menurun untuk penempatan massa tak seimbang antara di RD dan di LD berbeda orientasi lebih besar dari 30° .

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis sampaikan kepada Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas penugasan penelitian dengan nomor kontrak: 94/Kontrak-Penelitian Batch II/O10/KM/2016. Artikel ini merupakan hasil penelitian yang memanfaatkan salah satu produk penelitian yang telah didanai dengan nomor kontrak di atas.

Referensi

- [1] S. P. Mogal and D. I. Lalwani, "A brief review on fault diagnosis of rotating machineries," *Applied Mechanics and Materials*, 541-542, pp. 635-640, 2014.
- [2] P. Gupta and O. P. Gandhi, "Cost-down time monitoring for defect detection in rotating equipment," *International Journal of Performability Engineering*, 10(2), pp. 197-210, 2014.
- [3] A. Yanto, Z. Abidin, A. Anrinal and R. Saferi, "An Approach for The Condition Monitoring of Rotating Machinery, in the *Proceeding of the First International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS^{1st})*, pp. 219-224, 2016.
- [4] B. Carmen, M. Razvan and O. N. Dumitru, "Study on the defects size of ball bearings elements using vibration analysis," *Applied Mechanics and Materials*, 658, pp. 289-294, 2014.
- [5] A. J. Kumbhar and N. K. Chhapkhane, "Detection of the distributed defects on Inner & outer race of ball bearing using vibration analysis," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(11), pp. 147-150, 2014.
- [6] B. K. Kumar, G. Diwakar and M. R. S. Satynarayana, "Determination of Unbalance in Rotating Machine Using Vibration Signature Analysis," *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, vol.2, issue. 5, pp. 3415-3421, 2012.
- [7] A.C. Babar and A. A. Utpat, "Vibration Analysis of Misaligned Rotating Shaft," *International Journal of Mechanical Engineering and Information Technology (IJMEIT)*, vol. 2, issue. 6, pp. 287-294, 2014.
- [8] V-Belt and Timing Belt Installation and Maintenance. Available: https://www.bandousa.com/html/pdfs/vbelt_timingbelt.pdf.
- [9] Belt Drive Preventive Maintenance & Savety Manual. Available: http://www.royalsupply.com/downloads/Gates/Belt_PM_Manual.pdf.
- [10] Variable Speed Belt Drives. Available: http://www.lovejoy-inc.com/DownloadPDF.aspx?file=%2FuploadedFiles%2FTechnical_Resources%2Fvspinstall.pdf.
- [11] S. James and M. M. Sundaram, "Modeling of Tool Wear in Vibration Assisted Nano Impact-Machining by Loose Abrasives," *International Journal of Manufacturing Engineering*, Article ID 291564, 8 pages, 2014.
- [12] S. N. Dogan, "Loose part vibration in vehicle transmissions - Gear rattle," *Journal of Engineering and Environmental Science*, vol. 23, pp. 439-454, 1999.
- [13] W. R. Finley, M. M. Hodowanec and W. G. Holter, "An Analytical Approach to Solving Motor Vibration Problems," *IEEE/PCIC 1999 Conference*, Paper No. PCIC-99-20, 16 pages, 1999.
- [14] A. Yanto dan Anrinal, "Studi Getaran Eksperimental Akibat Kelonggaran Sistem Transmisi Sabuk Pada Mesin Rotari," *Prosiding Seminar Nasional PIMIMD 4th*, pp. 40-46, 2017.
- [15] S. N. Ganeriwala, B. Schwarz and M. H. Richardson, "Operating Deflection Shapes Detect Unbalance in Rotating Equipment," *the 27th International Modal Analysis Conference*, Orlando, FL, February 2009.
- [16] R. Walker, S. Perinpanayagam and I. Jennions, "Simulating Unbalance for Future IVHM Applications," in *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, vol. 4, pp 141-14, Springer, New York, NY, 2012.
- [17] A. Yanto dan R. Hidayat, "Analisis Perilaku Dinamik Sistem Poros-Rotor 3D," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 75-83, 2014.
- [18] A. Yanto and Anrinal, "Development of Dynamic Signal Analyzer Virtual Instrument (DSA VI): A Research Proposal," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 50-54, 2016.
- [19] K. Ogata, *Discrete-Time Control Systems*. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1995.
- [20] K. Ogata, *Modern Control Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2002.
- [21] E. Kreyszig, *Advanced Engineering Mathematics 9th Edition*, 9 ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2006.
- [22] R. K. Mobley, *Vibration Fundamentals (Plant Engineering Maintenance (Hardback))*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999.