

## **Pengaruh *Looseness* Terhadap Vibrasi Peralatan Yang Mengalami *Unbalance* Dan *Misalignment***

*Andi Kurniawan*

UPDL Suralaya, PLN PUSDIKLAT, Indonesia

andi.kurniawan@pln.co.id

### **ABSTRACT**

*Looseness occurs in almost all machines and can changes the vibration of the machine. In this paper, experiments were conducted by using two sets of rotor model to observe the effects of looseness on vibration values and patterns on the spectrum of unbalance and misalignment conditions. Rotor model 1 was used to simulate unbalance condition by adding mass to the disk, while rotor model 2 was used to simulate misalignment by changing the position of the bearing housings. Looseness condition was achieved by loosening the bearing housing bolts. The result of vibration observations in unbalance machine showed that looseness changed the overall value and peak values of vibration spectrum. While in machine which has shaft misalignment condition, looseness changed the vibration patterns on the spectrum.*

**Keywords:** *Looseness, unbalance, misalignment, overall vibration, spectrum*

### **ABSTRAK**

Looseness yang terjadi pada mesin dapat merubah vibrasi mesin dari kondisi sebelumnya. Pada makalah ini eksperimen dilakukan menggunakan dua set rotor model untuk mengamati pengaruh looseness terhadap nilai dan pattern vibrasi pada spektrum kondisi unbalance dan misalignment. Rotor model 1 digunakan untuk mensimulasikan kondisi unbalance dengan menambahkan massa pada disk, sedangkan rotor model 2 digunakan untuk mensimulasikan kondisi misalignment dengan merubah posisi bearing housing. Kondisi looseness dicapai dengan mengendorkan baut bearing housing. Hasil pengamatan vibrasi menunjukkan bahwa looseness pada mesin yang mengalami unbalance akan merubah nilai vibrasi overall dan nilai vibrasi dari peak pada spektrum. Sedangkan pada mesin yang mengalami misalignment, pengaruh looseness lebih dominan ke pola vibrasi pada spektrum.

**Kata Kunci:** *Looseness, unbalance, misalignment, vibrasi overall, spectrum*

## 1. PENDAHULUAN

*Looseness* merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada mesin. *Looseness* merupakan kondisi ketika terdapat *clearance* berlebih pada mesin. Baut yang kendor menjadi salah satu penyebab terjadinya *looseness*. *Looseness* pada mesin terkadang merupakan reaksi dari permasalahan lain seperti *unbalance*, *misalignment*, eksentrisitas, kerusakan bearing dan lainnya [1]. Dengan melakukan pengukuran vibrasi dan analisa pola vibrasi yang terjadi pada mesin, maka penyebab permasalahan pada mesin dapat diidentifikasi. *Looseness* yang terjadi pada mesin dapat merubah nilai dan pola vibrasi mesin dari kondisi sebelum *looseness*.

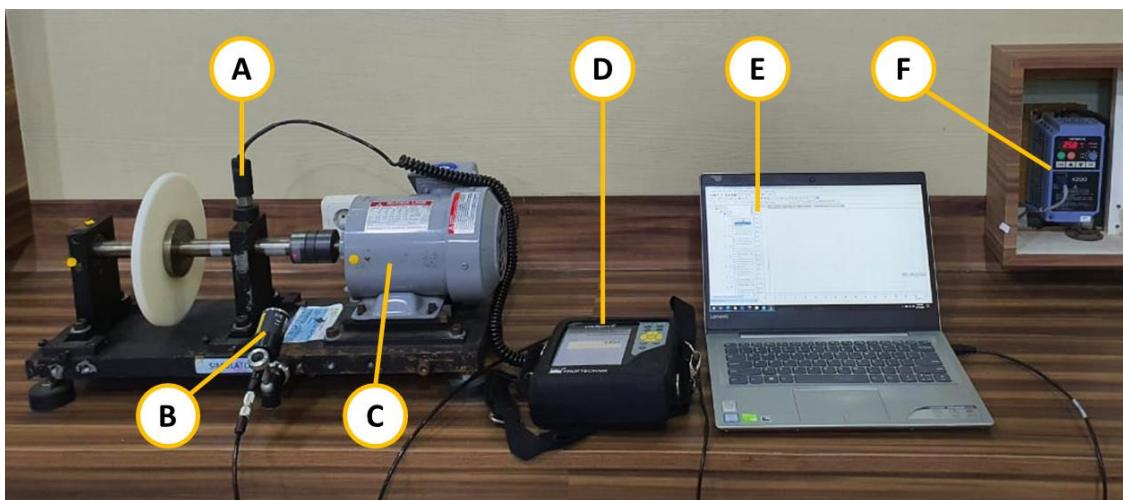
Banyak peneliti dari berbagai kalangan yang tetarik untuk melakukan penelitian terhadap kondisi *unbalance*, *misalignment* maupun *looseness*. Sutar et al [2] melakukan studi kasus beberapa permasalahan vibrasi pada *rotating machine* dan melakukan analisa frekuensi serta *phase* untuk mengetahui penyebab terjadinya vibrasi. Saleem et al [3] menemukan metode untuk mendeteksi *unbalance* pada mesin rotari menggunakan “*Deflected Shape of Shaft*”. Yamamoto, Costa dan Sousa [4] mengembangkan suatu metode untuk mendeteksi *unbalance* dengan cara menggabungkan analisa vibrasi dan FFT menggunakan *Programmable Gate Array*. Kumar, Diwakar dan Satynarayana [5] melakukan pengamatan kondisi *unbalance* mesin pada beberapa kecepatan putaran poros. Dang et al [6] melakukan percobaan *unbalance* pada mesin rotary dan menghitung beberapa koefisien dari tiap percobaan untuk mencari massa koreksi *unbalance*. Yanto [7] melakukan eksperimen dengan menempatkan massa pada dua disk prototype rotor pada berbagai orientasi sudut untuk mendapatkan lokasi dimana vibrasi *unbalance* memiliki amplitude terkecil. Senthilkumar dan Sendhilkumar [8] melakukan eksperimen dan menemukan karakteristik frekuensi yang berbeda pada spektrum untuk jenis kopling yang berbeda. Kurniawan [9] melakukan pengamatan pada model mesin *rotary* yang mengalami *misalignment axial* dan menemukan bahwa trend vibrasi *overall* tidak selalu berbanding lurus dengan kenaikan *misalignment*. Wang, Chen dan Song [10] melakukan pemodelan numerik terhadap mesin yang mengalami *looseness* untuk menganalisis karakteristik respon *asynchronous*. Yang et al [11] melakukan eksperimen untuk mengetahui hubungan *fatigue* dengan umur *looseness* baut. Wang et al [12] melakukan simulasi *looseness* menggunakan model rotor dengan beberapa kondisi *looseness* dan menyimpulkan bahwa *waveform* vibrasi memiliki bentuk *periodic impact*, asimetri, dan memiliki beberapa frekuensi. Nataraj dan Baskaran [13] mengemukakan bahwa metode *Bartlett Power Spectral Density* (BPSD) dapat digunakan untuk melakukan diagnosa permasalahan pada rotor jika ada permasalahan *misalignment* dan *looseness*. Wei et al [14] melakukan eksperimen pada *rotor system* yang mengalami *looseness* dengan *torsional load* yang berbeda, kemudian melakukan simulasi perhitungan berdasarkan data eksperimen tersebut. An dan Zhang [15] melakukan eksperimen menggunakan metode mode decomposition untuk mendiagnosa *looseness* pada *rotor system*.

Pada makalah ini penulis melakukan sesuatu yang belum terdapat di paper sebelumnya yaitu studi eksperimental pengukuran vibrasi dari *rotor model* yang mengalami *unbalance* dan *rotor model* yang mengalami *misalignment*. Kedua *rotor model* tersebut kemudian dibuat *looseness* pada kecepatan putaran poros yang sama. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh *looseness* terhadap nilai vibrasi *overall*, dan perubahan *pattern* vibrasi pada grafik spektrum dari kondisi *unbalance* dan *misalignment*.

## 2. Metode Penelitian

Eksperimen ini menggunakan dua set *rotor model* yang identik. Gambar 1 menunjukkan *rotor model* yang digunakan dalam studi eksperimen. Rotor model terdiri dari *disk* berbahan plastik dengan ketebalan 10 mm dan diameter 200 mm tersambung pada rotor dan ditopang oleh *deep groove ball bearing*. Pada *disk* terdapat 36 buah lubang untuk menempatkan massa untuk mensimulasikan kondisi *unbalance*. Pada *base plate* sisi *disk* terdapat baut pengatur posisi *bearing housing* untuk mensimulasikan kondisi *misalignment*. Rotor tersebut disambungkan dengan motor induksi 400 W (0,5 HP) oleh kopling fleksibel. Putaran motor listrik diatur oleh *Variable Frequency Drive* yang bekerja dengan cara mengatur frekuensi dan voltase listrik yang masuk ke motor. Pada eksperimen ini frekuensi listrik diatur pada 25,8 Hz sehingga rotor berputar pada kecepatan tetap 1500 rpm.

Pengukuran vibrasi dilakukan menggunakan *VibXpert II* dengan sensor *accelerometer* yang mempunyai sensitivitas  $1 \mu\text{A}/(\text{m/s}^2)$ . Pengukuran putaran rotor dilakukan menggunakan laser trigger sensor. Data vibrasi yang diukur adalah data overall dan grafik spektrum.



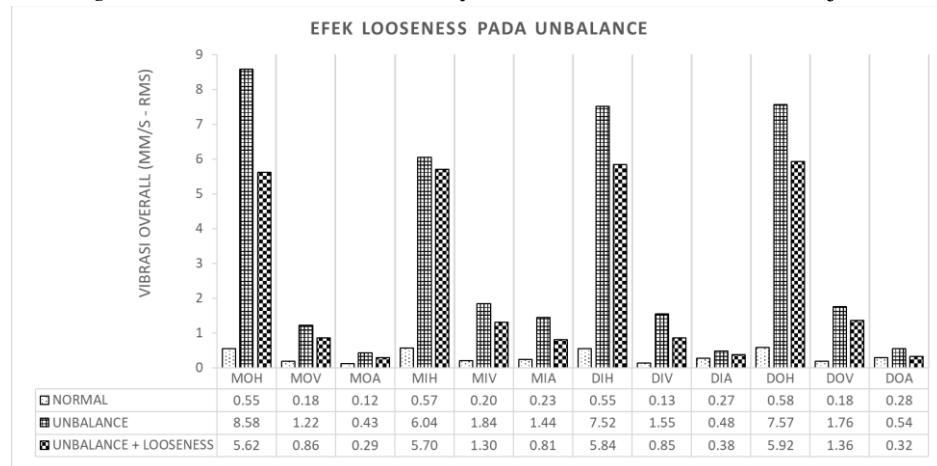
**Gambar 1.** Konfigurasi Eksperimen. A, Accelerometer Sensor ; B, Laser Triger Sensor ; C, Rotor Model ; D, Vibration Analyzer ; E, Software Data Management ; F, Variable Frequency Drive

Sebagai data awal, pengukuran vibrasi dilakukan pada saat rotor model sudah dilakukan *alignment* dan tidak ada massa *unbalance*. Rotor model 1 digunakan untuk mengetahui pengaruh *looseness* pada *unbalance*. Kondisi *unbalance* didapatkan dengan menambahkan massa sebesar 4,489 gram pada disk. Kemudian pengukuran vibrasi dilakukan untuk mengetahui nilai dan pattern vibrasi. Setelah itu rotor model dibuat *looseness* dengan mengendorkan baut *baseplate bearing housing disk* sisi *outboard*, dan kemudian dilakukan pengukuran vibrasi.

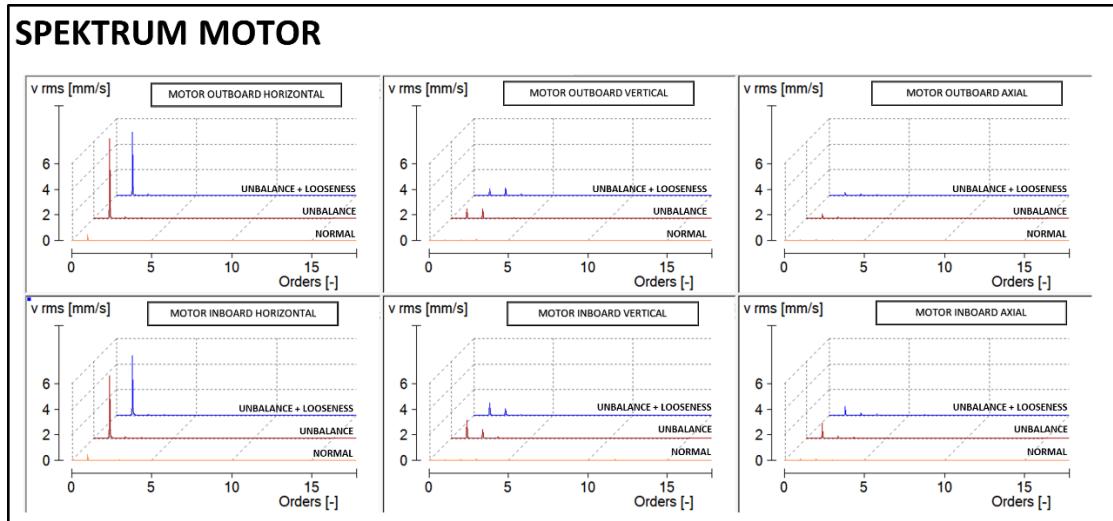
Untuk mengetahui pengaruh *looseness* pada *misalignment*, eksperimen dilakukan pada rotor model 2. Sebagai data awal, pengukuran dilakukan pada kondisi rotor tidak mengalami unbalance maupun misalignment. Pengukuran vibrasi kemudian dilakukan pada kondisi *misalignment*, yang diperoleh dengan menggeser *bearing housing disk* sisi *inboard* ke arah *horizontal* sebesar 1 mm dan *bearing housing disk* sisi *outboard* ke arah *horizontal* sebesar 2 mm. Setelah itu pengukuran vibrasi dilakukan pada kondisi *looseness*, yang diperoleh dengan mengendorkan baut *baseplate bearing housing disk* sisi *outboard*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan data nilai vibrasi *overall* dari tiap *measurement point* pada rotor model. Pada kondisi normal tanpa adanya massa unbalance dan misalignment poros, vibrasi *overall* pada tiap titik pengukuran mempunyai nilai di bawah 1 mm/s rms. Dengan adanya penambahan massa *unbalance* pada disk, nilai vibrasi *overall* pada setiap *measurement point* menjadi naik. Terlihat bahwa nilai vibrasi tertinggi *unbalance* terjadi pada *bearing Motor Outboard arah horizontal* dengan nilai 8,58 mm/s RMS. Kemudian dengan membuat *looseness* baut pengikat *bearing housing disk outboard*, nilai vibrasi dari setiap *measurement point* menjadi turun. Penurunan nilai vibrasi *overall* terbesar akibat adanya *looseness* terjadi pada *bearing Motor Outboard Horizontal*, yaitu dari 8,58 mm/s RMS menjadi 5,62 mm/s RMS.

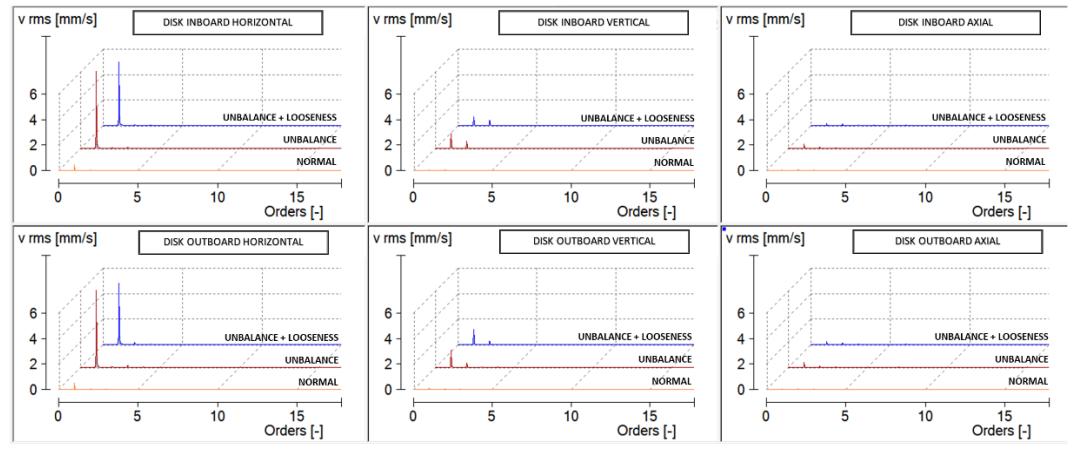


Gambar 2. Pengaruh *looseness* terhadap nilai vibrasi *overall* pada *unbalance* rotor



Gambar 3. Grafik spektrum motor kondisi normal, *unbalance* dan *looseness*

## SPEKTRUM DISK

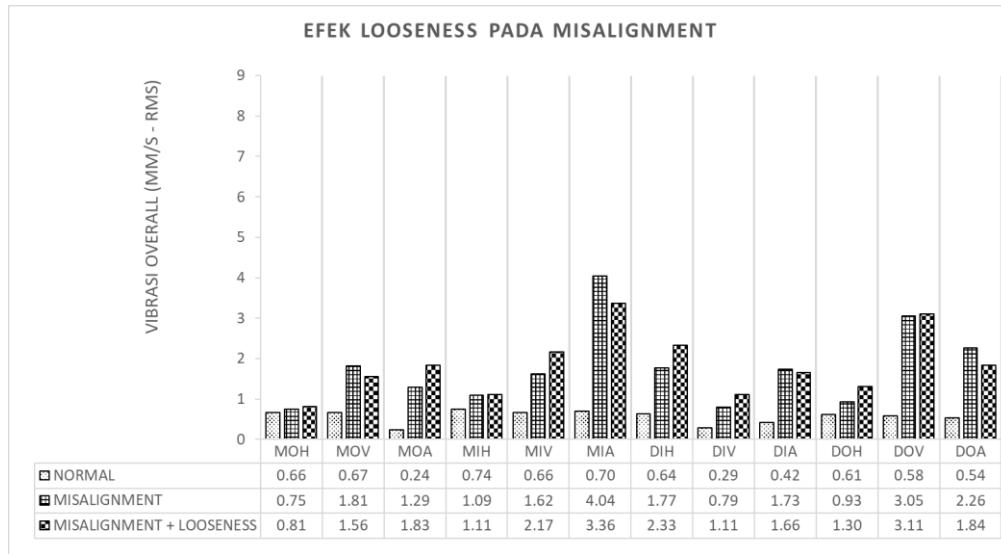


Gambar 4. Grafik spektrum disk kondisi normal, unbalance dan looseness

Gambar 3 dan 4 adalah grafik spektrum vibrasi motor dan *disk* pada kondisi normal, *unbalance* dan *looseness*. Pada kondisi normal, nilai vibrasi pada masing-masing *measurement point* sangat kecil. Akan tetapi dengan penambahan massa *unbalance* sebesar 4,489gram pada *disk*, menyebabkan nilai vibrasi arah horizontal pada masing-masing *bearing* naik enam kali lipat dari nilai semula. Vibrasi tertinggi dari semua *bearing* adalah pada arah horizontal, dengan *peak* dominan pada spektrum terjadi pada 1x *turning speed*. Sedangkan vibrasi arah vertikal dan *axial* relatif kecil apabila dibandingkan dengan arah horizontalnya. Hal ini merupakan ciri khas dari permasalahan *unbalance*.

Kondisi *looseness* dicapai dengan cara mengendorkan baut *bearing housing* sisi *disk outboard* tanpa melepas massa *unbalance* pada *disk*. Dengan adanya *looseness* pada rotor model, spektrum vibrasi yang ditunjukkan oleh hasil pengukuran mempunyai *pattern* yang sama dengan kondisi *unbalance*. Walaupun *pattern* spektrumnya sama, akan tetapi *looseness* memberikan pengaruh pada nilai vibrasinya. *Looseness* pada mesin menurunkan nilai vibrasi dari semua *peak* yang ada pada spektrum.

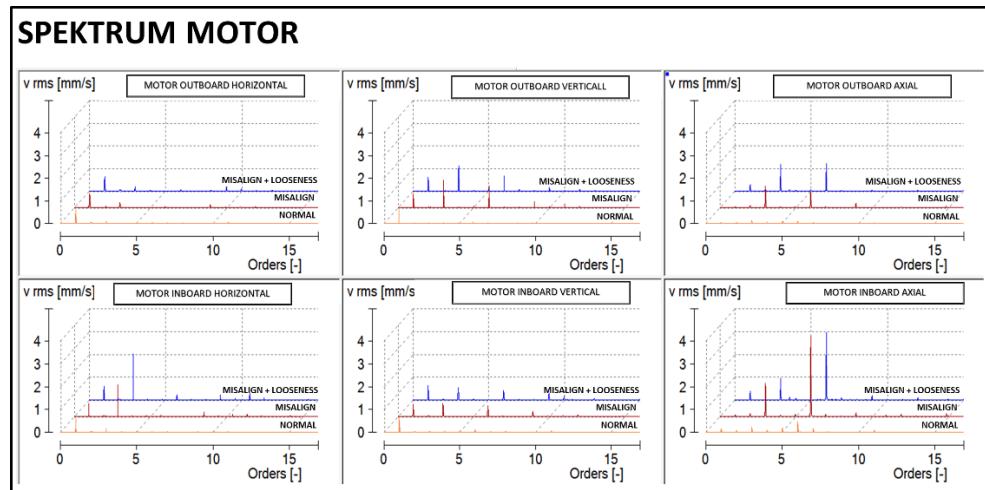
Pengamatan pengaruh *looseness* terhadap kondisi *misalignment* dilakukan pada rotor model 2. Hasil pengukuran vibrasi *overall* kondisi normal, *misalignment* dan *looseness* dapat dilihat pada gambar 5. Misalignment shaft akan menaikkan nilai vibrasi *overall*. Kenaikan nilai vibrasi *overall* tertinggi akibat adanya *misalignment shaft* adalah pada *Motor Inboard Axial* yaitu dari 0.7 mm/s RMS menjadi 4.04 mm/s RMS. Kemudian dengan membuat *looseness* baut pengikat *bearing housing disk outboard*, nilai vibrasi *overall* dari setiap *measurement point* menunjukkan respon yang beragam. Akan tetapi *looseness* akan menurunkan nilai *overall* tertinggi, yaitu pada *Motor Inboard Axial* dari 4.04 mm/s RMS menjadi 3.36 mm/s RMS.



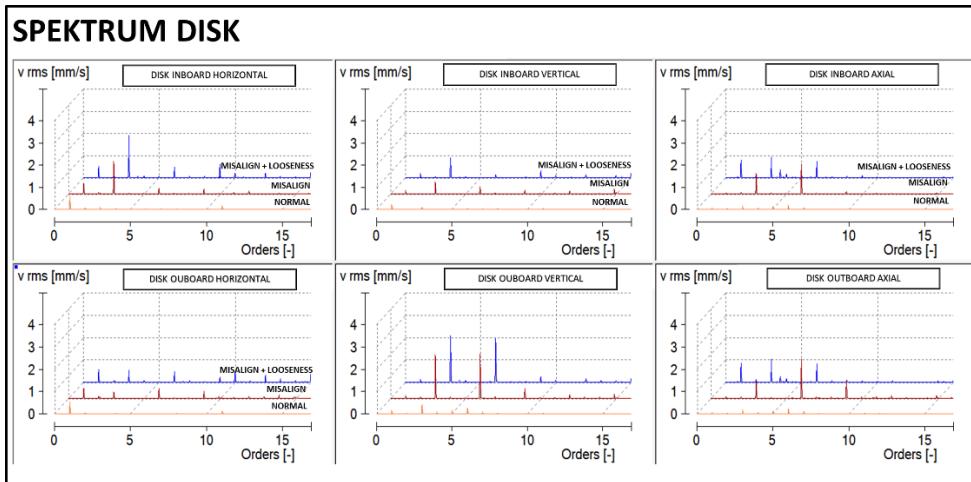
**Gambar 5.** Pengaruh *looseness* terhadap nilai vibrasi *overall* pada *misalignment shaft*

Gambar 5 dan 6 adalah grafik spektrum motor dan disk pada kondisi normal, *misalignment* dan *looseness*. Pada kondisi normal nilai vibrasi pada spektrum sangat kecil, akan tetapi dengan penambahan *misalignment axial* pada *bearing housing disk* ke arah horizontal akan menaikkan nilai vibrasi. Nilai vibrasi tertinggi pada spektrum terjadi pada *Motor Inboard* arah axial dengan *peak dominant* pada 3x dan 6x rpm mesin. Untuk beberapa *measurement point* lainnya, pola vibrasi pada spektrum menunjukkan ciri khas *misalignment* yaitu dominan pada 3x rpm mesin.

*Looseness* yang diberikan pada *disk bearing housing outboard* memberikan pengaruh yang kecil pada nilai vibrasi di grafik spektrum. Walaupun perubahan nilai vibrasi pada spektrum yang disebabkan oleh adanya cukup kecil, akan tetapi *looseness* akan menyebabkan perubahan *pattern vibrasi* pada spektrum. *Pattern spektrum vibrasi* yang berubah akibat adanya *looseness* terjadi pada *bearing disk inboard* dan *outboard* arah *axial*, yaitu dengan munculnya *peak nonharmonic* pada 3,58x rpm mesin.



**Gambar 6.** Grafik spektrum motor kondisi normal, misalignment dan looseness



Gambar 7. Grafik spektrum disk kondisi normal, misalignment dan looseness

#### 4. KESIMPULAN

*Unbalance* dan *misalignment* pada mesin akan menaikkan nilai vibrasi dengan *pattern vibrasi* yang khas pada spektrum. *Unbalance* memiliki *peak* dominan 1x rpm pada spektrum, sedangkan *misalignment* memiliki *peak* dominan pada 3x dan 6x rpm mesin. *Looseness* pada mesin yang mengalami *unbalance* dan *misalignment* akan mempengaruhi nilai vibrasi *overall* dan *pattern vibrasi* pada spektrum. *Looseness* pada mesin yang mengalami *unbalance* akan menurunkan nilai vibrasi *overall* dan nilai vibrasi pada spektrum, sedangkan *pattern vibrasi* pada spektrum tidak mengalami perubahan. Sementara itu *looseness* pada mesin yang mengalami *misalignment* akan menurunkan nilai vibrasi *overall* tertinggi, akan tetapi hanya memberikan pengaruh yang kecil pada nilai vibrasi pada spektrum. Pada kasus *misalignment*, *looseness* akan memberikan pengaruh pada *pattern vibrasi* di spektrum yaitu munculnya *peak non harmonic*. Berdasarkan hasil eksperimen tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa *looseness* yang terjadi pada mesin yang mengalami *unbalance* dan *misalignment* dapat merubah nilai vibrasi *overall* maupun *pattern vibrasi* pada spektrum.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. Berry, *Predictive Maintenance and Vibration Signature Analysis I*. Technical Associates of Charlotte, P.C., 2002.
- [2] S. Sutar, V. Warudkar, and R. Sukathankar, “Vibration analysis of rotating machines with case studies,” *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 7, no. 7, pp. 70–76, 2018.
- [3] M. A. Saleem, “Detection of Unbalance in Rotating Machines Using Shaft Deflection Measurement during Its Operation,” *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 08–20, 2012.
- [4] G. K. Yamamoto, C. da Costa, and J. S. da Silva Sousa, “A smart experimental setup for vibration measurement and imbalance fault detection in rotating machinery,” *Case Stud. Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 4, pp. 8–18, 2016.
- [5] B. K. Kumar, G. Diwakar, and M. R. S. Satynarayana, “Determination of Unbalance in Rotating Machine Using Vibration Signature Analysis,” *Int. J. Mod. Eng. Res.*, vol. 2, no. 5, pp. 33415–33421, 2012.
- [6] P. Vinh Dang, L. H. Toan Do, N. Thanh Vo, T. Nghi Ngo, and H. Nam Le, “Identification of

- Unbalance in Rotating Machinery Using Vibration Analyse Solution," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 841, no. 1, 2020.
- [7] A. Yanto, "Studi Eksperimental Getaran Sistem Poros-Rotor Akibat Imbalance Experimental Study of Vibration of Shaft-Rotor System Due to Imbalance," vol. 7, no. 2, 2017.
  - [8] M. Senthilkumar and S. Sendhilkumar, "Experimental Study on the Effects of Misalignment in a Rotor- Bearing System," *AENSI*, vol. 10, no. 6, pp. 89–93, 2016.
  - [9] A. Kurniawan, "Respon Vibrasi Overall dan Temperatur Komponen Mesin Terhadap Misalignment Axial," *KILAT*, 2020.
  - [10] H. F. Wang and G. Chen, "Asynchronous vibration response characteristics of connectors with looseness fault and its verification," *Gongcheng Lixue/Engineering Mech.*, vol. 33, no. 4, pp. 225–232, 2016.
  - [11] G. Yang, C. Che, S. Xiao, B. Yang, T. Zhu, and S. Jiang, "Experimental Study and Life Prediction of Bolt Loosening Life under Variable Amplitude Vibration," *Shock Vib.*, vol. 2019, 2019.
  - [12] H. Wang *et al.*, "Characteristics analysis of rotor-rolling bearing coupled system with fit looseness fault and its verification," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 1, pp. 29–40, 2019.
  - [13] M. Nataraj and G. Baskaran, "Experimental Investigation of Misalignment and Looseness in Rotor Bearing System using Bartlett Power Spectral Density," *Exp. Investig. Misalignment Looseness Rotor Bear. Syst. using Bartlett Power Spectr. Density*, vol. 76, no. 5, p. 313, 2017.
  - [14] S. Wei, W. Lu, and F. Chu, "Speed characteristics of disk–shaft system with rotating part looseness," *J. Sound Vib.*, vol. 469, 2020.
  - [15] X. An and F. Zhang, "Pedestal looseness fault diagnosis in a rotating machine based on variational mode decomposition," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, 2017.