

COMPARISON OF MILL PULVERIZER GEARBOX VIBRATION EVALUATION USING ISO 10816-3:2009 AND ISO 20816-9:2020

(Perbandingan Evaluasi Vibrasi Gearbox Mill Pulverizer Menggunakan ISO 10816-3:2009 dan
ISO 20816-9:2020)

Andi Kurniawan^{1*} dan Rivi Vediato²

ABSTRACT

Mill pulverizer is an important equipment in coal power plant that must be maintained for its reliability. Sudden damage of mill pulverizer can cause economic losses for power plant. Therefore, vibration assessment is carried out routinely to determine its condition status. Previously, ISO 10816-3:2009 was used as reference in vibration assessment of Mill Pulverizer gearbox. However, recently there is ISO 20816-9:2020 which is intended for the evaluation of gear vibration. This study experiment assessed the vibration of mill pulverizer based on ISO 10816-3:2009 and ISO 20816-9:2020. The results indicate that these two standards produce different vibration severity statuses. Verification of the machine's vibration severity status is carried out by analyzing the vibration spectrum data.

Keywords: Vibration assessment, ISO 10816-3:2009, ISO 20816-9:2020, vibration severity, spectrum

PENDAHULUAN

Monitoring vibrasi merupakan salah satu metode *Condition Based Maintenance* yang saat ini banyak diterapkan di industri untuk menjamin keandalan aset. Tujuan utama dari monitoring vibrasi ini adalah untuk mengetahui status kondisi aktual dari mesin dan untuk mendeteksi potensi permasalahan sebelum terjadi kerusakan (Randall, 2011). Mesin yang beroperasi pasti menghasilkan nilai vibrasi, meskipun mesin tersebut masih baru. Adanya perubahan gaya dinamis, variasi proses operasi, perubahan *clearance* antar komponen, dan

¹ UPDL Suralaya, PLN PUSDIKLAT, Indonesia

² Suralaya PGU, Indonesia Power, Indonesia

*Corresponding author:

andi.kurniawan@pln.co.id

kerusakan komponen akan menyebabkan nilai dan pola vibrasi mesin berubah (Mais & Brady, 2002). Monitoring perubahan nilai dan pola vibrasi dari mesin dapat memberikan peringatan awal untuk mengurangi potensi terjadinya *catastrophic failure* yang berakibat terjadinya *losses* dari segi biaya.

Untuk keperluan monitoring kondisi mesin secara umum, data vibrasi yang digunakan adalah nilai vibrasi *overall* dan grafik spektrum vibrasi. Nilai vibrasi *overall* merupakan total amplitudo vibrasi yang terjadi pada suatu titik pengukuran dan biasanya dinyatakan dalam satuan mm/s-rms (*Vibration Diagnostic Guide*, n.d.). Untuk menentukan status *severity* dari mesin, nilai *overall* ini kemudian dibandingkan dengan standar acuan vibrasi. Salah satu standar acuan evaluasi vibrasi yang banyak digunakan untuk mesin industri adalah ISO 10816-3:2009. Mesin yang masuk ke kriteria ISO 10816-3:2009 adalah mesin rotari yang memiliki daya motor di atas 15 KW dan beroperasi pada kecepatan putaran 120 rpm – 15000 rpm. Contoh mesin yang termasuk ke kriteria standar ini adalah kompresor rotari, *generator* listrik, motor listrik, *fan* dan turbin uap dengan daya kurang dari 50 MW. Standar ini juga bisa digunakan untuk evaluasi vibrasi mesin industri yang memiliki komponen *gear*, tapi tidak ditujukan untuk diagnosis kondisi *gear* itu sendiri (ISO, 2009). Hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan status kondisi *gear* berdasarkan ISO 10816-3:2009 adalah *range* frekuensi vibrasi pada pengukuran nilai *overall* terbatas pada 2-1000 Hz (*Vibration Measurement and Analysis*, n.d.) (Pruftechnik, 2019). Sedangkan vibrasi yang ditimbulkan akibat adanya permasalahan pada komponen *gear* dapat terjadi pada frekuensi di atas 1000 Hz (Kurniawan, 2022). Sehingga ada kemungkinan jika pada komponen *gear* sudah terdapat permasalahan, namun hasil evaluasi vibrasi mesin menggunakan ISO 10816-3:2009 masih menunjukkan hasil yang baik.

Pada tahun 2020, ISO menerbitkan standar baru yang khusus menyediakan acuan evaluasi kondisi *gear* yaitu ISO 20816-9:2020 [8]. Standar ini dapat digunakan sebagai acuan dalam *acceptance test* maupun untuk keperluan monitoring rutin. Akan tetapi standar ini belum banyak digunakan untuk evaluasi komponen *gear* mesin-mesin di industri. Banyak industri yang masih menggunakan ISO 10816-3:2009 untuk evaluasi vibrasi komponen *gear* pada mesin, terutama untuk mesin-mesin yang dianggap *critical*. PLTU Suralaya adalah salah satu yang masih menggunakan ISO 10816-3:2009 dalam melakukan evaluasi vibrasi dari mesin

Mill Pulverizer. Mesin *Mill Pulverizer* adalah salah satu contoh peralatan yang memiliki komponen *gearbox*. Mesin ini berfungsi untuk menghaluskan ukuran batubara sebelum disuplai ke *boiler*. Dikarenakan peralatan ini adalah salah satu peralatan *critical* yang jika mengalami kerusakan dapat menyebabkan *derating* PLTU, maka perlu pertimbangan yang hati-hati untuk melakukan penggantian standar vibrasinya.

Sampai dengan saat ini belum ada penelitian yang membandingkan hasil evaluasi vibrasi *gear* menggunakan ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020. Makalah ini akan membandingkan hasil evaluasi vibrasi mesin *Mill Pulverizer* berdasarkan ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020, sehingga diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai standar acuan evaluasi vibrasi yang paling relevan dengan mesin *Mill Pulverizer* di PLTU Suralaya.

METODE

Data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data vibrasi dari mesin *Mill Pulverizer* 5F PLTU Suralaya Unit 5 yang berlokasi di Kota Cilegon, Provinsi Banten. Mesin *Mill Pulverizer* ini memiliki tipe *Vertical Spindle Roll & Race* Babcock & Wilcox. *Gearbox Mill Pulverizer* ini memiliki 3 tingkat *gear* dan berfungsi sebagai *speed reducer*, input speed dari motor listrik adalah 983 rpm dan *output speed*nya adalah 23,8 rpm. Spesifikasi *mill pulverizer* adalah sebagai berikut:

Driver Data (Motor)

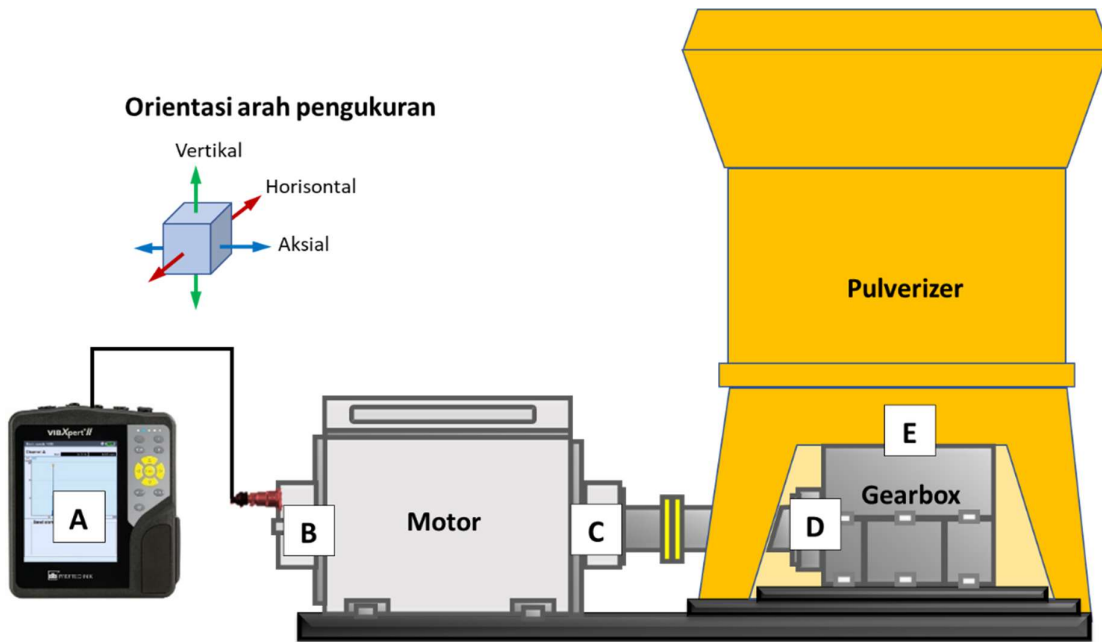
<i>Manufacturer</i>	: Westinghouse Motor Co-Canada
<i>Power</i>	: 522 kW / 700 HP
<i>Speed</i>	: 982 rpm
<i>Bearing</i>	: <i>Self aligning split sleeve</i> , 114.3 x 127 mm
DE/NDE	: 0,152/0,229 mm (0,006"/0,009") Dia. <i>design clearance</i> WECAN Style No 778B512H01
<i>Coupling Type</i>	: <i>Flexible Coupling</i>

Driven Data (Gear)

<i>Type</i>	: <i>Vertical Spindle Roll & Race</i> Babcock & Wilcox
-------------	--

<i>Speed</i>	: 23,8 RPM
<i>1st stage No. of Teeth</i>	: 25 teeth (input) dan 51 teeth (output)
<i>2nd stage No. of Teeth</i>	: 18 teeth (input) dan 73 teeth (output)
<i>3rd stage No. of Teeth</i>	: 19 teeth (input) dan 93 teeth (output)
<i>Bearing</i>	: Rolling Element Bearing (TIMKEN)

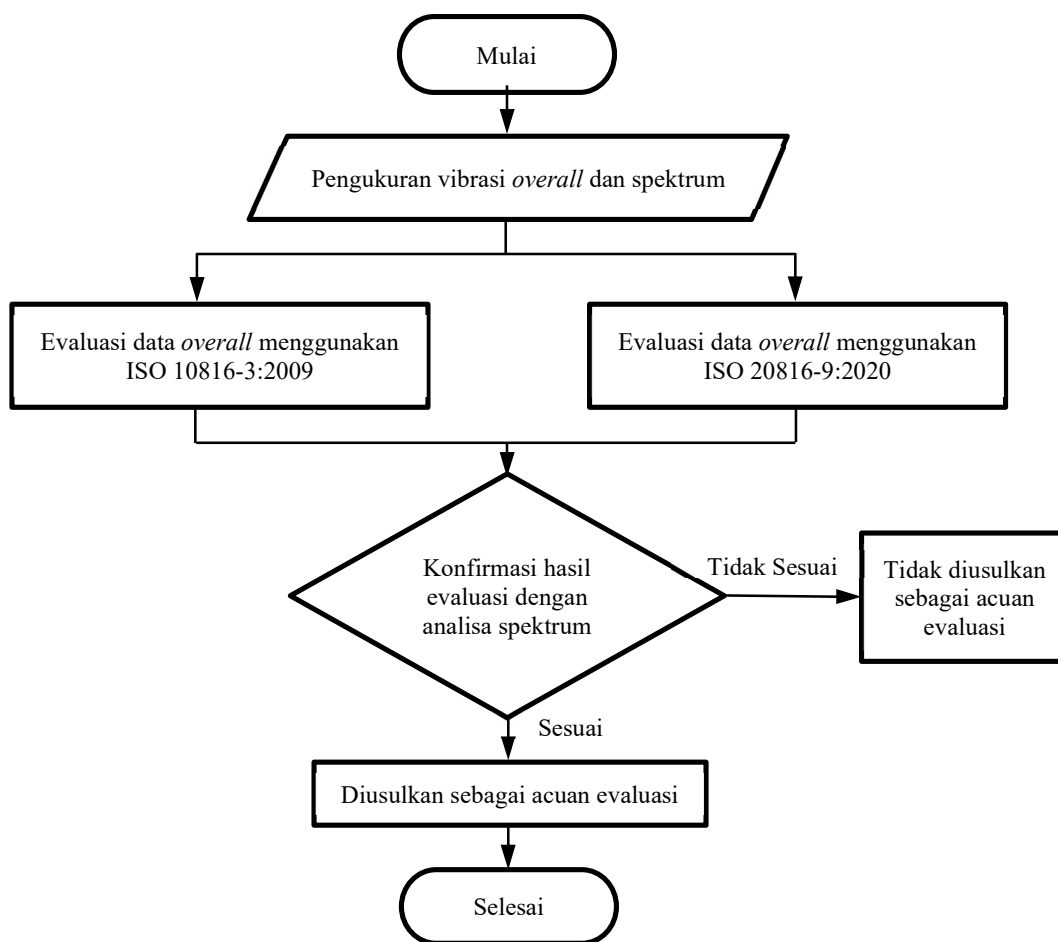
Pengukuran vibrasi dilakukan pada bearing *Motor dan Gearbox* dengan menggunakan peralatan *single channel data collector* Pruftechnik Vibxpert II. Sensor vibrasi yang digunakan adalah tipe *accelerometer magnetic mounting*, dengan *frequency range* 1 Hz – 20 kHz dan *resonant frequency* 36 kHz (Pruftechnik, n.d.). Pengukuran vibrasi di tiap *bearing* dilakukan pada orientasi arah horisontal, vertikal dan aksial. Lokasi penempatan sensor pengukuran vibrasi pada mesin dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Data Collector dan Measurement Point pada Mill Pulverizer

A. Data Collector; B. Bearing 1 (Motor Outboard); C. Bearing 2 (Motor Inboard); D. Bearing 3 (Gear Input); E. Bearing 4 (Gear Output)

Data vibrasi yang diukur adalah data vibrasi *overall* dan grafik spektrum vibrasi. Pada penelitian ini, pengukuran vibrasi *overall* dilakukan dengan *setting range* frekuensi 2-1000 Hz dalam satuan mm/s-rms. Sedangkan pengukuran spektrum dilakukan dengan *setting range* frekuensi 2-2000 Hz, *line number* 6400, 4 *linear average*, dan *Hanning window*. Pengukuran data vibrasi dilakukan dari bulan April sampai dengan bulan Oktober 2021. Data vibrasi *overall* akan dibandingkan dengan standar ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816:2020 untuk menentukan status *severity* mesin.



Gambar 2. Flowchart metode penelitian

ISO 10816-3:2009 adalah standar untuk evaluasi kondisi mesin secara keseluruhan, sehingga data vibrasi yang dievaluasi menggunakan standar ini adalah data vibrasi *overall* dari

bearing motor dan *gearbox*. Sedangkan ISO 20816-9:2020 adalah standar khusus untuk evaluasi kondisi dari *gear*, sehingga data vibrasi yang akan dievaluasi menggunakan standar ini adalah data vibrasi dari *bearing gearbox* saja.

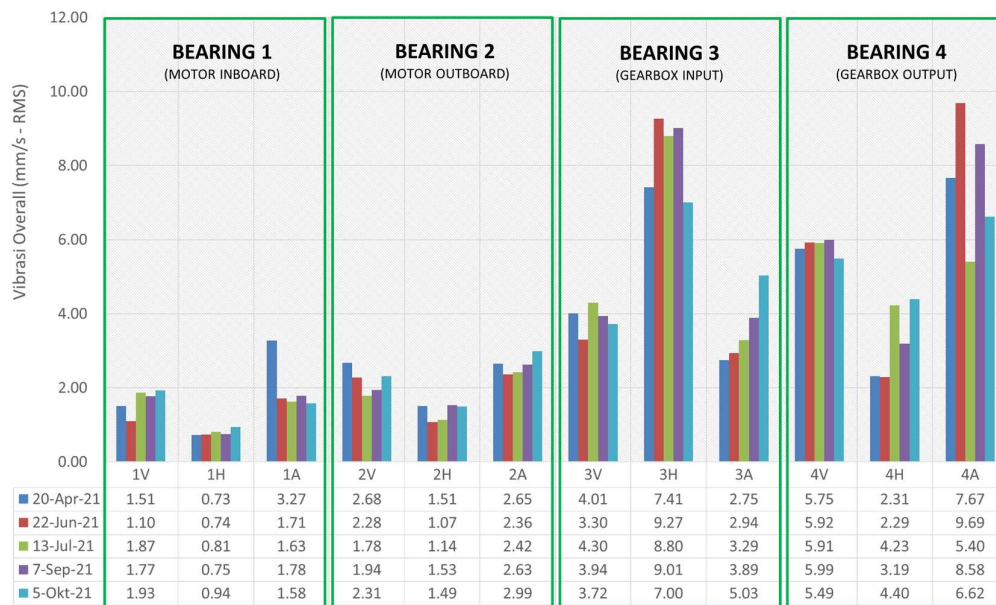
Untuk standar pertama yaitu ISO 10816-3:2009, evaluasi vibrasi mesin dilakukan berdasarkan dua kriteria yaitu dengan *severity zone* dan perubahan nilai vibrasi. Evaluasi vibrasi berdasarkan *severity zone* dilakukan dengan membandingkan nilai vibrasi *overall* dengan batasan *severity*. Ada empat *severity zone* yaitu *Zone A* sampai *Zone D*, dengan *Zone A* adalah kondisi paling baik dan *Zone D* adalah kondisi paling buruk. Batasan *severity* vibrasi ditentukan berdasarkan tipe mesin, daya mesin dan *support system flexibility*. Menurut standar ini mesin *Mill Pulverizer 5F PLTU Suralaya* diklasifikasikan ke Grup 1, dengan batasan *severity Zone A* (0 – 2.3 mm/s-rms), *Zone B* (> 2.3 mm/s-rms - 4.5 mm/s-rms), *Zone C* (> 4.5 mm/s-rms – 7.1 mm/s-rms) dan *Zone D* (>7.1 mm/s-rms).

Selain berdasarkan *severity zone*, evaluasi vibrasi menggunakan ISO 10816-3:2009 juga dilakukan berdasarkan perubahan nilai vibrasi. Disebutkan dalam standar ini bahwa jika ada kenaikan atau penurunan nilai vibrasi *overall* yang melebihi 25% batas atas *Zone B* (1,125 mm/s-rms), maka dapat disimpulkan bahwa perubahan vibrasinya signifikan dan memerlukan tindak lanjut.

Untuk standar yang kedua yaitu ISO 20816-9:2020 evaluasi vibrasi dilakukan berdasarkan *severity zone* saja. Menurut standar ini mesin *Mill Pulverizer 5F PLTU Suralaya* dikategorikan ke *Class IV* dan *Velocity Rating 12,5*, dengan batasan *Severity Zone A* (0 - 8 mm/s-rms), *Zone B* (> 8 mm/s-rms – 12.5 mm/s-rms), *Zone C* (> 12.5 mm/s-rms - 20 mm/s-rms) dan *Zone D* (>20 mm/s-rms). Batasan dan keterangan *severity zone* vibrasi mesin berdasarkan ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020 dapat dilihat pada Tabel 1.

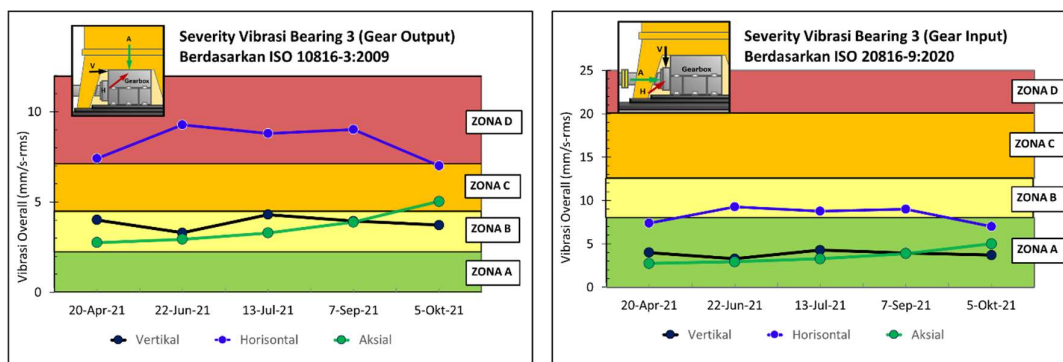
Tabel 1. Batasan severity zone vibrasi berdasarkan ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020

Velocity severity (mm/s RMS)	ISO 10816-3:2009	ISO 20816-9:2020	Keterangan Zona
2.3	A	A	Zona A : mesin yang memiliki nilai vibrasi sangat kecil
4.5	B		
7.1	C		
8	D	B	Zona B : mesin dengan vibrasi yang normal dan <i>acceptable</i> untuk dioperasikan jangka waktu yang lama
12.5		C	
20		D	D
			Zona D : kondisi mesin yang nilai vibrasinya sudah cukup tinggi dan dapat menyebabkan kerusakan



Gambar 3. *Vibrasi Overall* dari masing-masing orientasi pengukuran (Horisontal, vertical dan aksial) bearing Mill Pulverizer 5F PLTU Suralaya

Gambar 4 adalah perbandingan hasil evaluasi vibrasi *overall Bearing 3 (gearbox input)* antara ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa vibrasi tertinggi dari *bearing 3* terjadi pada arah horisontal. Evaluasi *severity* vibrasi *Bearing 3* berdasarkan ISO 10816-3 menunjukkan bahwa dari hasil pengukuran tanggal 5 Oktober 2021, status mesin berada pada Zona C. Walaupun demikian jika dibandingkan dengan hasil pengukuran sebelumnya yaitu tanggal 5 Oktober 2021, ada penurunan nilai vibrasi sebesar 2,01 mm/s-rms. Nilai ini melebihi batasan maksimal perubahan nilai vibrasi yang diijinkan oleh ISO 10816-3:2009, yaitu sebesar 1,125 mm/s-rms. Sehingga dapat disimpulkan bahwa walaupun vibrasi *Bearing 3 (gearbox input)* masih berada pada Zona C, akan tetapi ada perubahan nilai vibrasi yang melebihi batasan sehingga vibrasinya dapat dikatakan signifikan dan harus segera ditindaklanjuti.

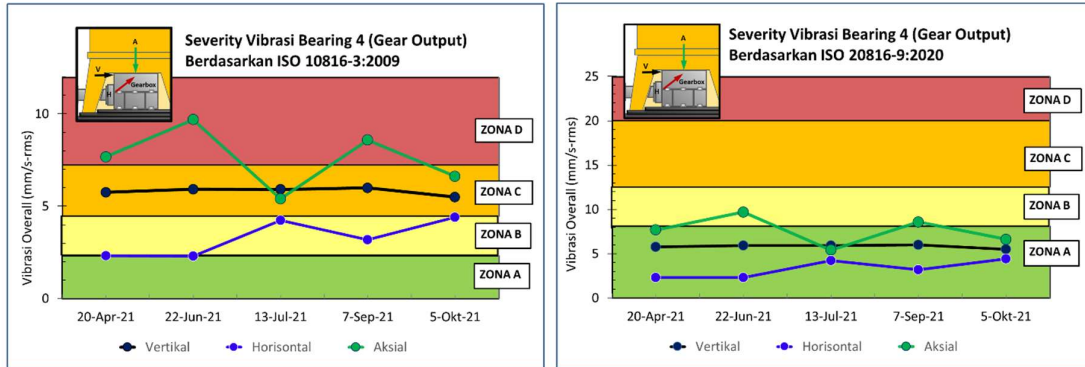


Gambar 4. Perbandingan hasil evaluasi vibrasi antara ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020 untuk vibrasi *overall bearing 3 (gearbox input)*

Berdasarkan ISO 20816-9:2020, nilai *severity* vibrasi *Bearing 3* masih dikategorikan cukup kecil sehingga status mesin masih berada pada Zona A. Evaluasi vibrasi dengan ISO 20816-9:2020 hanya berdasarkan *severity zone* saja, sehingga menurut standar ini disimpulkan bahwa vibrasi mesin masih cukup baik dan mesin boleh beroperasi untuk jangka waktu yang panjang.

Evaluasi vibrasi dari *Bearing 4* menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan *Bearing 3*. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa menurut ISO 10816-3:2009 vibrasi mesin dari hasil pengukuran terakhir berada pada Zona C dan terdapat perubahan nilai vibrasi sebesar 1,96

mm/s-rms pada arah pengukuran aksial. Sedangkan menurut ISO 20816-9:2020 vibrasi mesin masih cukup kecil dan masih berada pada Zona A.



Gambar 5. Perbandingan hasil evaluasi vibrasi antara ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020 untuk vibrasi overall bearing 4 (gearbox output)

Hasil evaluasi vibrasi antara ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan, sehingga perlu dilakukan verifikasi menggunakan data spektrum. Grafik spektrum vibrasi memberikan informasi mengenai hubungan antara *amplitude peak* vibrasi dan frekuensi vibrasi (*Basic Vibration Analysis*, 2006). Dengan melakukan analisa *peak* yang muncul pada spektrum maka dapat diidentifikasi sumber penyebab vibrasi, sehingga potensi permasalahan yang terjadi pada mesin dapat diketahui.

Untuk mengetahui potensi kerusakan yang terjadi pada *gearbox*, maka analisa dilakukan dengan mengamati frekuensi yang muncul pada spektrum *gearbox*. Permasalahan yang terjadi pada mesin, akan menyebabkan munculnya *peak* dengan frekuensi tertentu pada grafik spektrum. Frekuensi ini disebut dengan *forcing frequency*. *Forcing frequency* yang mungkin muncul pada spektrum *gearbox* adalah *Gear Mesh Frequency* (GMF) dan *bearing frequency*. *Bearing frequency* dari *gearbox* Mill Pulverizer 5F adalah *Bearing Pass Frequency Outer* (BPFO) sebesar 109.60 Hz, *Bearing Pass Frequency Inner* (BPFI) sebesar 152.32 Hz, *Ball Spin Frequency* (BSF) sebesar 45.18 Hz dan *Fundamental Train Frequency* (FTF) sebesar 6.84 Hz (*TIMKEN Bearing Frequency*, 2022). Ciri dari adanya permasalahan pada bearing adalah munculnya salah satu *bearing frequency* tersebut pada spektrum.

Forcing frequency yang selanjutnya adalah *Gear Mesh Frequency* (GMF). GMF ini

adalah frekuensi yang muncul pada spektrum karena adanya gesekan antar komponen *gear*. Nilai *Gear Mesh Frequency* dapat dihitung dari jumlah *teeth* dikalikan dengan kecepatan putaran *gear* (Mobley, 2002). Pada *gearbox Mill Pulverizer 5F* terdapat tiga pasang tingkat *gear*, sehingga akan ada tiga GMF yaitu GMF tingkat pertama (GMF 1st stage), GMF tingkat kedua (GMF 2nd stage) dan GMF tingkat ketiga (GMF 3rd stage). Berikut adalah perhitungan masing-masing GMF:

$$\text{GMF } 1^{\text{st}} \text{ stage} = \#teeth \text{ input } 1^{\text{st}} \text{ stage} \times \text{rpm motor} = 25 \times \frac{982}{60} = 409.17 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{GMF } 2^{\text{nd}} \text{ stage} &= \#teeth \text{ input } 2^{\text{nd}} \text{ stage} \times \\ \frac{\text{GMF } 1^{\text{st}} \text{ stage}}{\#teeth \text{ output } 1^{\text{st}} \text{ stage}} &= 18 \times \frac{409.17}{51} = 144.41 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (2)$$

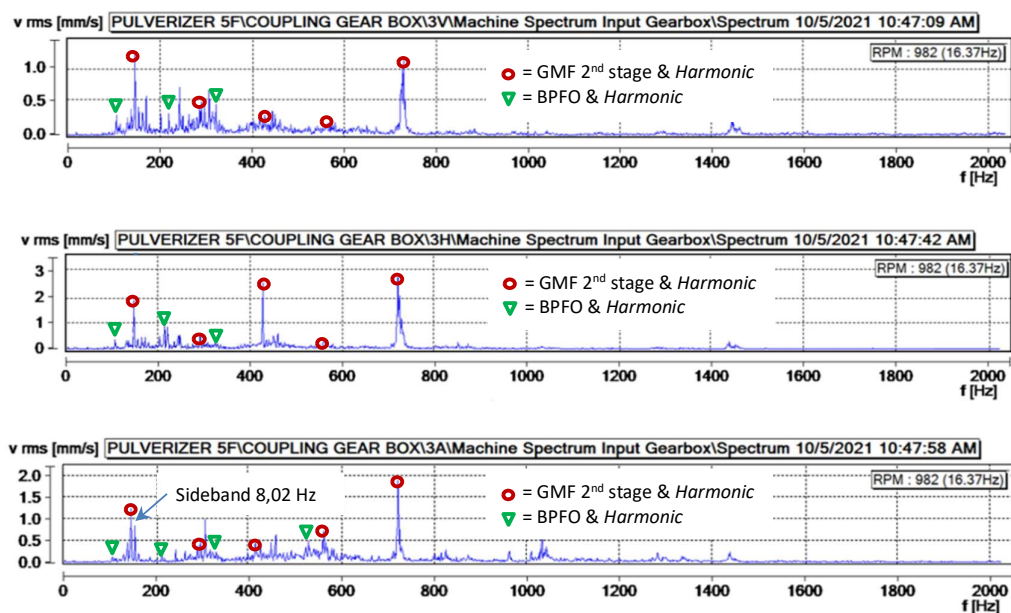
$$\begin{aligned} \text{GMF } 3^{\text{rd}} \text{ stage} &= \#teeth \text{ input } 3^{\text{rd}} \text{ stage} \times \\ \frac{\text{GMF } 2^{\text{nd}} \text{ stage}}{\#teeth \text{ output } 2^{\text{nd}} \text{ stage}} &= 19 \times \frac{144.41}{73} = 37.59 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (3)$$

Ciri dari permasalahan pada *gear* adalah munculnya *peak* harmonik atau kelipatan dari GMF pada spektrum. Selain itu, permasalahan komponen *gear* ditandai dengan adanya *peak side band* di sekitar GMF yang *amplitudanya melebihi* sepertiga amplitude *peak* GMF. Dengan menghitung jarak frekuensi antara *peak sideband* dan GMF maka dapat ditentukan komponen *gear* yang mengalami kerusakan.

Pada penelitian ini grafik spektrum yang dianalisa adalah hasil pengukuran tanggal 5 Oktober 2021 di *Bearing 3 (gearbox input)*. Grafik spektrum tersebut ditunjukkan oleh Gambar 6. Pada grafik spektrum tersebut terdapat *peak* yang memiliki frekuensi sama dengan GMF 2nd stage yaitu 144,41 Hz. Harmonik GMF 2nd stage juga muncul pada 3x GMF di 433.24 Hz dan 5x GMF di 722.06 Hz. Hal ini mengindikasikan adanya potensi *backlash* atau *gear misalignment* (Berry, 1997). Jika diperhatikan lebih teliti lagi, di sekitar GMF terdapat *peak sideband* yang berjarak 8,02 Hz dari GMF. Nilai 8,02 Hz berasal kecepatan putaran *shaft stage 1* yaitu sebesar 481.37 RPM. Tingginya *amplitude sideband* merupakan hasil dari *amplitude modulation* (West, 1999) yang mengindikasikan adanya keausan pada *gear*.

Pada spektrum juga terdapat *peak Bearing Pass Frequency Outer* (BPFO) pada 109.60

Hz dan kelipatannya. Hal ini mengindikasikan adanya permasalahan pada *bearing*. Selain itu, terlihat ada *noise floor* di spektrum yang mengindikasikan adanya *rotating looseness* akibat keausan pada komponen *bearing*.



Gambar 6. Grafik spektrum vibrasi *Bearing 3* (*gearbox input*) arah *horizontal*, *vertikal* dan *axial*

Hasil analisa spektrum di atas menunjukkan bahwa sudah terdapat potensi permasalahan pada komponen *gear* dan *bearing Mill Pulverizer 5F*. Hasil analisa spektrum ini sesuai dengan hasil evaluasi vibrasi menggunakan ISO 10816-3:2009 yang juga menyatakan severity vibrasi sudah berada pada Zona C dan segera membutuhkan tindak lanjut.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah membuktikan bahwa hasil evaluasi vibrasi gearbox *Mill Pulverizer 5F* PLTU Suralaya dengan ISO 10816-3:2009 dan ISO 20816-9:2020 memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Hasil evaluasi ISO 10816-3:2009 menyatakan bahwa *severity* vibrasi sudah berada pada Zona C, sedangkan menurut ISO 20816-9:2020 vibrasi mesin masih berada pada Zona A. Akan tetapi hasil analisa spektrum memberikan informasi bahwa pada *gearbox* sudah

ada potensi permasalahan pada komponen *gear* dan *bearing*. Terkait dengan hal tersebut, disimpulkan bahwa standar evaluasi vibrasi yang lebih sesuai untuk *Mill Pulverizer 5F* PLTU Suralaya adalah ISO 10816-3:2009. Sehingga disarankan untuk pelaksanaan monitoring vibrasi *Mill Pulverizer 5F* di PLTU Suralaya tetap menggunakan standar ISO 10816-3:2009. Selain itu analisa data spektrum vibrasi juga tetap harus dilakukan pada kegiatan monitoring rutin untuk mendeteksi potensi permasalahan pada *gearbox*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT PLN (Persero) UPDL Suralaya dan PT Indonesia Power Suralaya Power Generation Unit yang telah memberikan dukungan hingga terwujudnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Basic Vibration Analysis*. (2006). Computational Systems Incorporated.
- Berry, J. E. (1997). *Concentrated Vibration Signature Analysis and Related Condition Monitoring Techniques*. Technical Associates of Charlotte, P.C.
- Berry, J. E. (2002). *How To Implement An Effective Condition Monitoring Program Using Vibration Analysis*. Technical Associates of Charlotte, P.C.
- ISO. (2009). *ISO 10816-3:2009 - Mechanical vibration —Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*. 2, 12.
- Kurniawan, A. (2022). Penentuan Jumlah Minimal Line Of Resolution Dalam Spektrum Vibrasi Untuk Pengukuran Rutin Vibrasi. *KILAT*, 11(1), 32–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.33322/kilat.v11i1.1526>
- Mais, J., & Brady, S. (2002). *Introduction Guide to Vibration Monitoring*. SKF Reliability Systems.
- Mobley, R. K. (2002). An Introduction To Predictive Maintenance. In *Journal of the Food Hygienic Society of Japan* (2nd ed., Vol. 42, Issue 6). Butterworth-Heinemann.
- Pruftechnik. (n.d.). *Accelerometer (Industrial) VIB 6.12x, VIB 6.14x Installation and*

- Operation*. Retrieved July 7, 2022, from <https://www.pruftechnik.com/fileadmin/Products-Services/Products/Condition-Monitoring-Systems/Condition-Monitoring-Sensors-and-Accessories/PRUFTECHNIK-Sensors-and-accessories/Downloads/VIBCODE/>
- Pruftechnik. (2019). *VIBXPERT II Operating Instruction*.
- Randall, R. B. (2011). Vibration-Based Condition Monitoring. In *John Wiley and Sons, Ltd.* https://doi.org/10.1007/978-94-007-6422-4_11
- TIMKEN Bearing Frequency*. (2022, October 21). <https://www.timken.com/Engineering-Tools/Bearing-Frequencies/>.
- Vibration Diagnostic Guide*. (n.d.). Retrieved June 9, 2022, from http://edge.rit.edu/edge/P14453/public/Research/SKF_VibrationGuide.pdf
- Vibration measurement and analysis*. (n.d.). Retrieved June 10, 2022, from <https://www.spminstrument.nl/measuring-techniques/vibration-monitoring/vibration-measurement-and-analysis/>
- West, A. (Ed.). (1999). *Intermediate Vibration Analysis*. Computational Systems Incorporated.