

Penentuan Jumlah Minimal Line Of Resolution Dalam Spektrum Vibrasi Untuk Pengukuran Rutin Vibrasi

Andi Kurniawan

UPDL Suralaya, PLN PUSDIKLAT, Indonesia

andi.kurniawan@pln.co.id

ABSTRACT

Resolution of vibration spectrum is one of that affect the accuracy of vibration analysis result. This study was conducted to determine the most effective minimum line of resolution (LOR) for determining the target resolution in separating two close peaks. Several parameter settings like Fmax and LOR are used to measure the spectrum of a model rotor. The results of this study indicate that with 3 LORs in the separating frequency, the spectrum is quite detailed in separating two close peaks. This experimental study resulted a simple calculation in determining the minimum amount of LOR for routine vibration measurements.

Keywords: Resolution, spectrum, Fmax, Line Of Resolution, Separating Frequency

ABSTRAK

Salah satu hal yang berpengaruh terhadap ketepatan analisa data vibrasi adalah resolusi grafik spektrum vibrasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah minimal line of resolution (LOR) yang paling efektif untuk menentukan target resolusi dalam memisahkan dua buah peak yang berdekatan. Beberapa setting parameter seperti Fmax dan LOR digunakan untuk melakukan pengukuran spektrum dari suatu rotor model. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan 3 buah LOR dalam separating frequency, spektrum yang dihasilkan yang cukup detail dalam memisahkan dua buah peak yang berdekatan. Studi eksperimen ini menghasilkan perhitungan sederhana dalam penentuan jumlah minimal LOR untuk pengukuran rutin vibrasi.

Kata Kunci: Resolusi, spectrum, Fmax, Line Of Resolution, Separating Frequency

1. PENDAHULUAN

Monitoring vibrasi mesin menggunakan *single channel data collector* masih menjadi metode yang dapat diandalkan dalam pemeliharaan prediktif [1]. Grafik spektrum vibrasi memberikan informasi mengenai hubungan antara frekuensi sebagai sumber vibrasi dan amplitudo sebagai indikasi tingkat keparahan. Beberapa makalah sebelumnya menunjukkan bahwa analisa grafik spektrum vibrasi cukup efektif untuk mengungkap permasalahan pada mesin. Case dan Marscher [2], Busono et al [3], Prawira et.al [4], dan Putra [5] melakukan analisa data vibrasi untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada pompa sentrifugal. Sementara itu Siano dan Panza [6] melakukan percobaan untuk mengetahui kapabilitas dari teknik analisa vibrasi untuk mendeteksi kavitasi pompa. Kurniawan [7] juga melakukan eksperimen menggunakan rotor model untuk mengetahui pengaruh *looseness* terhadap grafik spektrum dari mesin yang mengalami *unbalance* dan *misalignment*. Aherwar dan Khalid [8] melakukan *review* terhadap teknik analisa vibrasi pada diagnosa permasalahan *gearbox*. Lebih lanjut Luo et al [9] mengusulkan metode untuk melakukan estimasi *Instantaneous Frequency* pada analisa *order spectrum* untuk mendeteksi *bearing fault*.

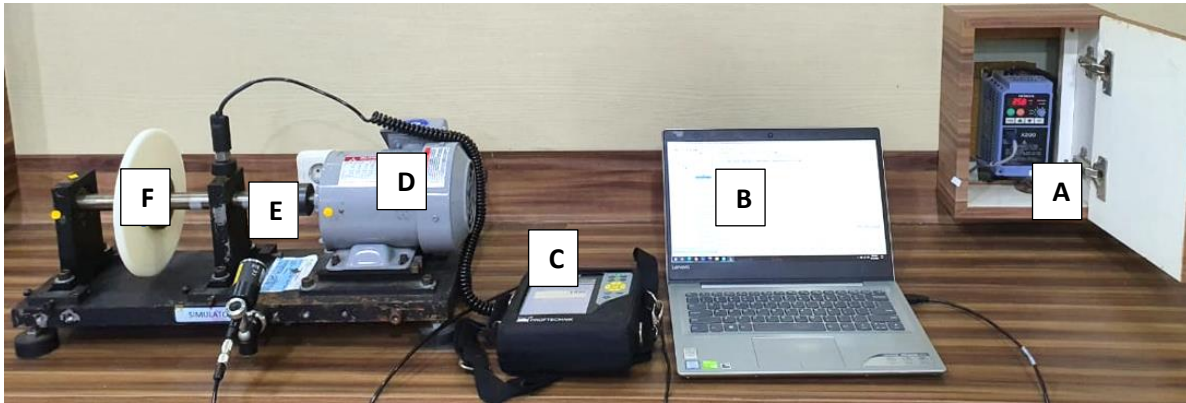
Grafik spektrum vibrasi merupakan hasil konversi grafik *time domain waveform* yang merupakan gabungan dari beberapa sinyal vibrasi. Melalui proses *Fast Fourier Transform (FFT)*, sinyal-sinyal tersebut kemudian dipisahkan dan ditampilkan menjadi *individual peak* dalam *frequency domain* [10]. Dalam proses FFT tersebut dibutuhkan pengaturan beberapa parameter agar grafik spektrum secara detail dapat memisahkan masing-masing *peak* vibrasi. Parameter tersebut di antaranya adalah F_{max} atau *span frequency* yang merupakan lebar dari spektrum dan jumlah *line of resolution (LOR)* yang merupakan *bin* pada spektrum. *Individual peak* vibrasi pada spektrum akan muncul di titik tengah dari LOR [11]. Lebar dari LOR yang juga disebut dengan *resolution*, didapat dengan membagi F_{max} dengan jumlah LOR [12]. LOR berfungsi layaknya *pixel* pada layar televisi atau monitor komputer. Semakin banyak jumlahnya maka resolusi grafik akan semakin baik dan gambar yang ditampilkan akan lebih detail [13]. Jika jumlah LOR pada spektrum kurang, maka dua buah *peak* yang berdekatan akan muncul sebagai *single peak*. Akan tetapi jika pemilihan jumlah LOR terlalu banyak, akan berakibat ukuran *file* menjadi lebih besar dan waktu untuk *processing* data dalam pengukuran vibrasi menjadi lebih lama [14]. Sehingga nilai F_{max} dan jumlah LOR harus ditentukan secara tepat.

Beberapa literatur memberikan rekomendasi jumlah LOR untuk pengukuran rutin vibrasi adalah 800, 1600 atau 3200 [15] [16]. Dengan rekomendasi jumlah LOR tersebut, untuk nilai F_{max} yang berbeda masih terdapat kemungkinan resolusi spektrum kurang cukup untuk memisahkan dua *peak* yang berdekatan. Hal ini akan menyebabkan proses analisa vibrasi yang kurang detail, sehingga rekomendasi perbaikan mesin juga menjadi kurang tepat. Mengacu pada hal tersebut, makalah ini merupakan hasil studi eksperimen pengukuran vibrasi pada suatu rotor model yang bertujuan untuk mendapatkan *setting* parameter *signal processing* spektrum *velocity* yang efektif untuk diterapkan dalam *monitoring* rutin vibrasi. Sehingga diharapkan grafik spektrum yang didapatkan mampu menampilkan sumber vibrasi pada mesin secara detail, agar tindak lanjut perbaikan masalah pada mesin dapat dilakukan dengan tepat.

2. METODE PENELITIAN

Sesuai dengan tujuan awal penelitian ini yaitu untuk mendapatkan grafik spektrum yang secara detail dapat menampilkan masing-masing *peak* dari sumber vibrasi, studi eksperimen dilakukan dengan pengambilan empat buah data spektrum dari suatu rotor *model*. Pengambilan data spektrum vibrasi dilakukan menggunakan peralatan *vibration analyzer* VibXpert II, sedangkan pengaturan parameter *signal processing* spektrum dilakukan menggunakan *software* Omnitrend. *Rotor model*

terdiri dari motor listrik dengan daya 400 W (0,5 HP) dan dihubungkan ke *disk* dengan *flexible jaw coupling*. Putaran motor diatur oleh *Variable Frequency Drive* (VFD) yang pada percobaan ini ditentukan di *frequency* 25 Hz, sehingga didapatkan putaran aktual *shaft* sebesar 1455 rpm. Pada motor listrik terdapat *deep groove ball bearing* dengan bearing number 6202zz. Untuk mensimulasikan sinyal vibrasi yang akan diamati pada grafik spektrum vibrasi, rotor model dikondisikan mengalami *unbalance*, *misalignment* dan *uneven air gap* pada motor. *Layout* dari percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 1.

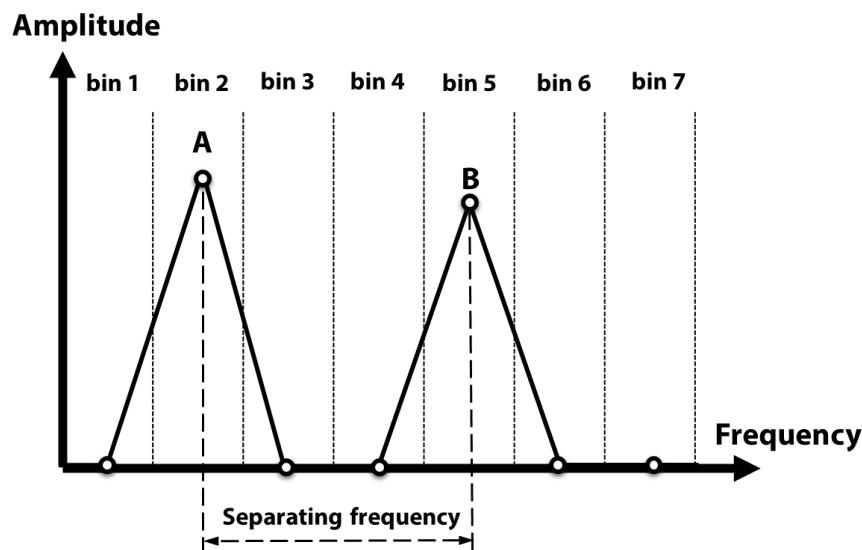


Gambar 1. Layout rotor model. A, VFD ; B, Software Omnitrend ; C, Vibxpert II ; D, 1 two Pole Induction Motor ; E, Flexible Coupling dengan kondisi Misalignment ; F, Disk dengan massa unbalance

Pengaturan parameter *signal processing* spektrum pada *software* Omnitrend dilakukan sebelum pelaksanaan pengambilan data pada *rotor model*. Parameter pengukuran spektrum yang diatur pada percobaan ini dibatasi pada Fmax dan jumlah LOR, sedangkan untuk parameter lainnya penulis menggunakan setting yang direkomendasikan oleh Omnitrend yaitu HP Filter = 2 Hz, jumlah *averaging* = 4 (linear) dan jenis *windowing* = Hanning. Tiap-tiap pengambilan data spektrum pada rotor model memiliki *setting parameter* Fmax dan Jumlah LOR yang berbeda. Kemudian keempat grafik spektrum tersebut dibandingkan untuk mengetahui grafik yang paling detail dalam menampilkan *peak* yang berasal dari *unbalance*, *misalignment* dan *uneven rotor gap*.

Setting parameter spektrum yang pertama menggunakan salah satu menu pengaturan *default* dari *software* Omnitrend yaitu Fmax = 400 Hz dan jumlah LOR = 800. Sedangkan untuk *setting* parameter spektrum yang selanjutnya, ditentukan nilai Fmax sebesar 1000 Hz, 400 Hz, dan 200 HZ.

Agar grafik spektrum dapat memisahkan dua buah *peak* yang berdekatan dan mempertimbangkan bahwa titik tengah dari LOR adalah tempat munculnya puncak atau kaki dari *peak* [17], penentuan jumlah LOR pada eksperimen ini didasarkan pada jarak antara dua buah *peak* yang ingin dipisahkan. Untuk selanjutnya, jarak antara dua buah *peak* disebut dengan istilah *separating frekuensi*. Pada percobaan ini, jumlah minimal LOR dalam *separating frequency* adalah 3 buah LOR. Hal ini bertujuan agar kaki dan pusat dari *peak* yang berdekatan tidak bergabung menjadi satu. Ilustrasi pembagian jumlah LOR dalam *separating frequency* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi usulan minimal jumlah LOR dalam separating frequency

Sesuai dengan teori sebelumnya, lebar dari LOR adalah *resolution* yang nilainya didapat dari pembagian F_{max} dengan jumlah LOR. Akan tetapi pada spektrum hasil pengukuran oleh peralatan *vibration analyzer*, lebar dari LOR juga dipengaruhi oleh adanya tipe *windowing* yang digunakan [11]. Sehingga lebar aktual dari LOR adalah *resolution* dikalikan dengan *window factor*. Untuk keperluan *monitoring* rutin vibrasi, jenis *windowing* yang digunakan adalah Hanning yang memiliki nilai *window factor* 1,5 [18]. Maka nilai *minimal resolution* sesuai usulan penulis bahwa dalam *separating frequency* ada 3 LOR, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Separating Frequency} = 3 \times \text{Lebar LOR} \quad (1)$$

$$\text{Separating Frequency} = 3 \times \text{Target Resolution} \times \text{Window Factor} \quad (2)$$

$$\text{Target Resolution} = \frac{\text{Separating Frequency}}{3 \times \text{Window Factor}} \quad (3)$$

Sehingga jumlah LOR pada F_{max} di spectrum dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Minimal LOR} = \frac{F_{max}}{\text{Target Resolution}} \quad (4)$$

$$\text{Minimal LOR} = \frac{F_{max}}{\text{Separating Frequency}} \times 3 \times \text{Window Factor} \quad (5)$$

Pada percobaan ini permasalahan *unbalance* akan memunculkan dominan *peak* pada 1x order pada spektrum. *Shaft misalignment* akan memunculkan dominan *peak* 1x sampai 3x order, dan kemungkinan adanya harmonik 1x order jika terjadi *severe misalignment*. Pada percobaan ini putaran motor diatur oleh VFD pada frekuensi 25 Hz, sehingga *uneven air gap* pada motor akan memunculkan *peak* pada 2x *Line of Frequency* (2xLF) yaitu pada nilai 50 Hz [19]. Putaran aktual dari *shaft* adalah 1455 rpm (24.25 Hz). Maka dua buah *peak* terdekat pada spektrum adalah 2x order pada $2 \times 24,25 \text{ Hz} = 48,5 \text{ Hz}$ dan 2x LF pada $2 \times 25 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$. Sehingga nilai *separating frequency* adalah $50 \text{ Hz} - 48,5 \text{ Hz} = 1,5 \text{ Hz}$. Dengan menggunakan persamaan (3), maka dapat dihitung nilai target resolution.

$$\text{Target Resolution} = \frac{\text{Separating Frequency}}{3 \times 1,5} = \frac{1,5 \text{ Hz}}{4,5} = 0,33 \text{ Hz} \quad (6)$$

Setelah menentukan target *resolution*, langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah LOR untuk tiap Fmax dengan mengacu ke perhitungan Minimal LOR pada persamaan (5). Jumlah LOR untuk tiap Fmax pada percobaan ini tertera pada Tabel 1.

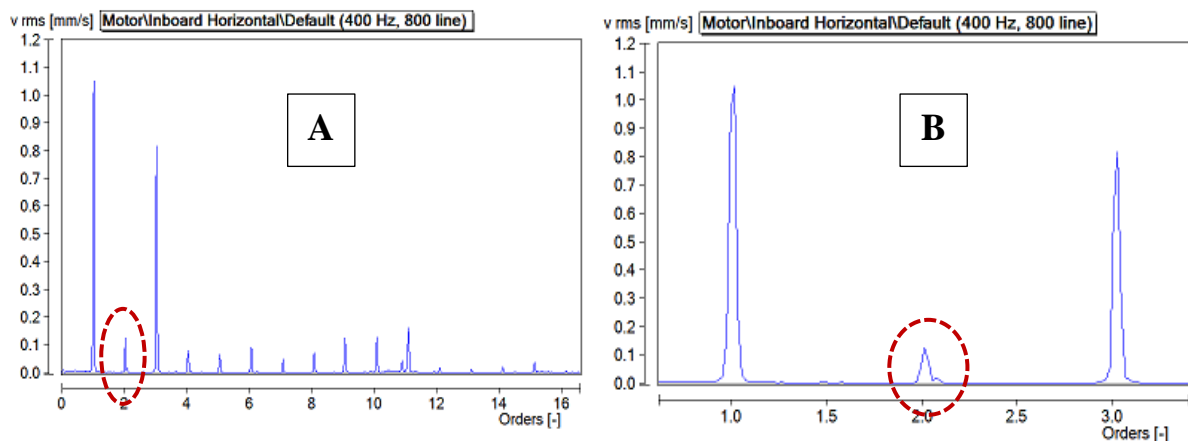
Tabel 1. Fmax dan LOR tiap *setting* parameter spektrum yang digunakan

	Fmax	Minimal LOR	Aktual LOR	Output Resolution (Fmax / Aktual LOR)
Setting 1	400 Hz	Default	800	0,5 Hz
Setting 2	1000 Hz	3000	3200	0.31 Hz
Setting 3	400 Hz	1200	1600	0.25 Hz
Setting 4	200 Hz	600	800	0.25 Hz

Pengaturan parameter spektrum pada Omnitrend berdasarkan Tabel 1 diupload ke *vibration analyzer* VibXpert II untuk kemudian digunakan untuk melakukan pengukuran vibrasi *rotor model*. Pengambilan data spektrum vibrasi untuk tiap *setting parameter* dilakukan satu per satu pada *bearing Inboard Motor*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

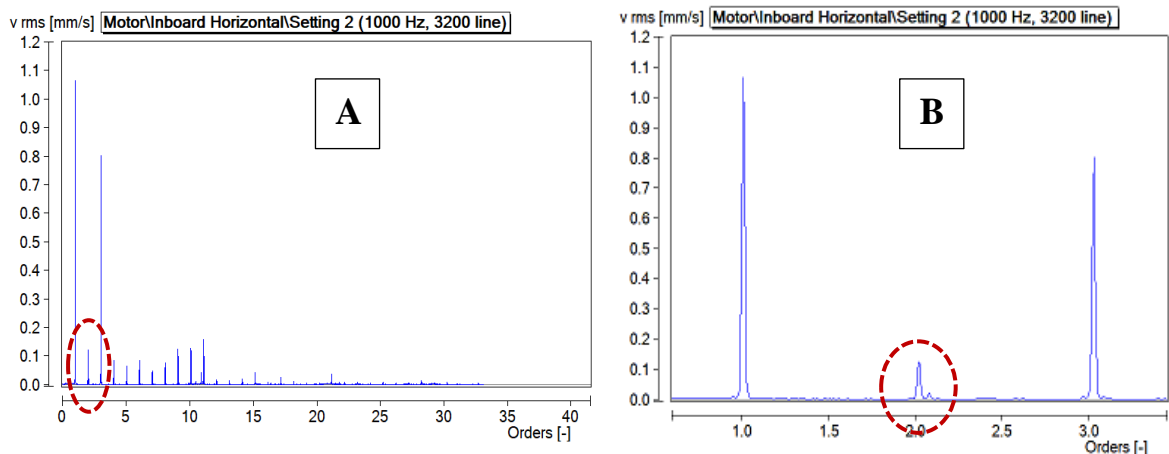
Data hasil pengukuran spektrum menggunakan default setting (Fmax = 400 Hz, jumlah LOR = 800 dan *resolution* = 0,5 Hz/LOR) ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan menggunakan *Setting 1* ini spektrum memiliki Fmax 16x *order*, sedangkan permasalahan yang terdeteksi pada spektrum adalah *unbalance* dan *misalignment* yang ditunjukkan oleh dominan *peak* pada 1x dan 3x *order*. *Harmonic peak* dari 1x *order* juga terlihat pada spektrum, yang menunjukkan adanya *severe misalignment*. Akan tetapi *peak* 2xLF pada 50 Hz akibat adanya *uneven air gap* pada motor tidak terlihat pada spektrum. Hal ini disebabkan karena nilai *resolution* 0,5 Hz/LOR lebih besar dari nilai target *resolution*, sehingga *peak* 2x *order* dan *peak* 2x LF bergabung menjadi satu.



Gambar 3 Spektrum hasil pengukuran *Setting 1* (Fmax = 400 Hz, LOR = 800 dan *resolution* = 0,5 Hz/LOR).

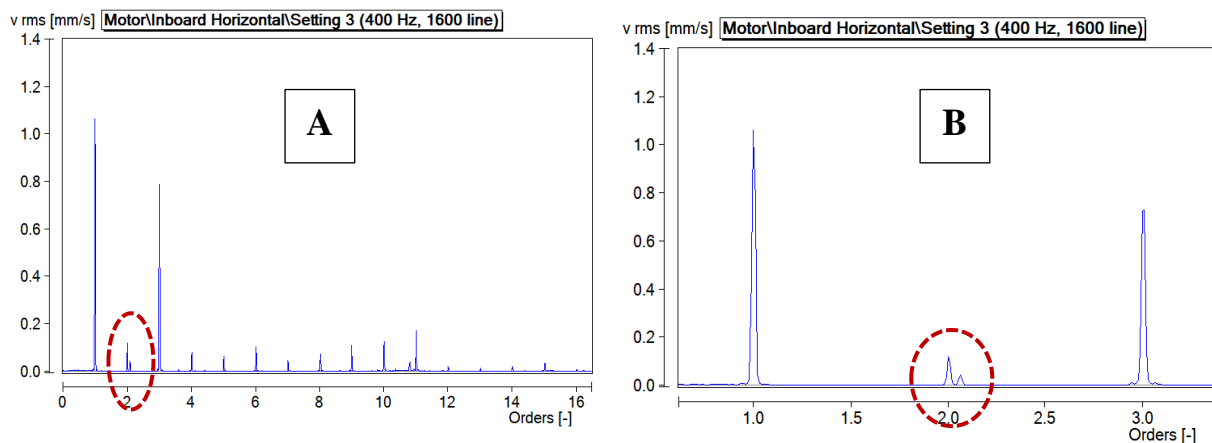
A, *original spectrum* ; B, *zoom spectrum*

Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran spektrum menggunakan *Setting 2* (Fmax = 1000 Hz, LOR = 3200). Spektrum dengan *setting* ini memiliki frekuensi maksimum 40x *order* dan resolusi 0,31 Hz/LOR sehingga *peak* terlihat lebih ramping. Permasalahan *unbalance* dan *misalignment* terlihat dengan jelas, akan tetapi permasalahan *uneven air gap* pada 2x LF tidak terlalu tampak pada *original* spektrum. *Peak* 2x LF baru akan terlihat ketika spektrum dizoom dengan fokus ke 2x *order*. Terlihat *peak* 2x LF muncul di sebelah kanan *peak* 2x *order* dengan *amplitude* yang kecil.



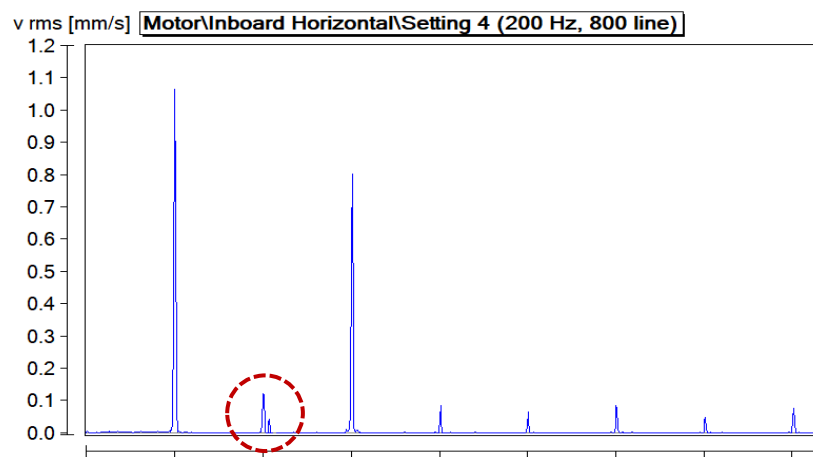
Gambar 4. Spektrum hasil pengukuran *Setting 2* ($F_{max} = 1000$ Hz, LOR = 3200 dan resolution = 0.31 Hz/LOR). A, *original spectrum* ; B, *zoom spectrum*

Data spektrum selanjutnya adalah hasil pengukuran menggunakan *Setting 3* ($F_{max} = 400$ Hz dan LOR = 1600 Hz/LOR) seperti pada Gambar 5. Dengan F_{max} 16x *order* dan *resolution* 0.25 Hz, permasalahan *unbalance*, *misalignment* dan *uneven air gap* terlihat dengan jelas pada *original spectrum* maupun *zoom spectrum*.



Gambar 5. Spektrum hasil pengukuran *Setting 3* ($F_{max} = 400$ Hz, LOR = 1600 dan resolution = 0.25 Hz/LOR). A, *original spectrum* ; B, *zoom spectrum*

Gambar 6 adalah spektrum hasil pengukuran menggunakan *Setting 4* ($F_{max} = 200$ Hz dan LOR = 800), dimana frekuensi maksimumnya adalah 8x *order* dan *resolution* 0.25 Hz. *Peak* karena *unbalance* dan *misalignment* terlihat sangat mendominasi spektrum, sedangkan *peak* karena *uneven air gap* pada 2x LF terlihat jelas tanpa melakukan *zoom spectrum*.



Gambar 6. Spektrum hasil pengukuran *Setting 4* ($F_{\max} = 200$ Hz, LOR = 800 dan resolution = 0.25 Hz/LOR)

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa F_{\max} dan jumlah LOR merupakan dua parameter utama yang menentukan resolusi grafik spektrum. Parameter F_{\max} dapat ditentukan berdasarkan *failure mode* dari mesin, sehingga dapat diketahui kemungkinan *peak* yang akan muncul pada spektrum untuk kemudian dapat ditentukan *separating frequency*. Sedangkan untuk penentuan jumlah LOR, hasil percobaan menunjukkan bahwa penentuan 3 buah LOR dalam *separating frequency* mampu menghasilkan spektrum yang cukup detail untuk memisahkan dua buah *peak* yang berdekatan. Dari studi eksperimen ini dihasilkan perhitungan sederhana untuk menentukan *target resolution* spektrum dan jumlah minimal LOR yaitu:

$$\text{Target Resolution} = \frac{\text{Separating Frequency}}{3 \times \text{Window Factor}} \quad (7)$$

$$\text{Minimal LOR} = \frac{F_{\max} \times 3 \times \text{Window Factor}}{\text{Separating Frequency}} \quad (8)$$

Hasil percobaan ini dapat diintegrasikan dalam pengaturan awal *route measurement task* pada *database* vibrasi untuk keperluan pelaksanaan monitoring rutin vibrasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT PLN (Persero) UPDL Suralaya dan Institut Teknologi PLN yang telah memberikan dukungan hingga terwujudnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. K. Mobley, *An Introduction To Predictive Maintenance*, 2nd ed., vol. 42, no. 6. Woburn, United States of America: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [2] G. Case and W. D. Marscher, "Centrifugal Pump Mechanical Design, Analysis, And Testing," *Turbomachinery and Pump Symposia*. p. 119, 2001.
- [3] P. Busono, Syafrul, and A. S. Catur, "Analisis Vibrasi Pada Pompa Pendingin Primer AP003," *Bul. Pengelolaan Reakt. Nukl.*, vol. 11, no. 1, pp. 72–79, 2014.
- [4] M. G. Prawira, A. Jannifar, and S. Sariyusda, "Inspeksi Pompa Centrifugal Berbasis Data Vibrasi Menggunakan Vibration Analyzer Di Pt Pertamina Ep Asset 1 Field Rantau," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 43–50, 2018.
- [5] L. A. Putra, "Analisa Kerusakan Pompa Setrifugal P-011C di PT. Sulfindo Adiusaha Dengan Menggunakan Transducer Getaran Accelerometer," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 98–104, 2016.
- [6] D. Siano and M. A. Panza, "Diagnostic method by using vibration analysis for pump fault detection," *Energy Procedia*, vol. 148, no. Ati, pp. 10–17, 2018.
- [7] A. Kurniawan, "Pengaruh Looseness Terhadap Vibrasi Peralatan Yang Mengalami Unbalance Dan Misalignment," vol. 10, no. 1, pp. 138–145, 2021.
- [8] A. Aherwar and S. Khalid, "Vibration analysis techniques for gearbox diagnostic: A review," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 4–12, 2012.
- [9] J. Luo, S. Zhang, M. Zhong, and Z. Lin, "Order Spectrum Analysis for Bearing Fault Detection via Joint Application of Synchrosqueezing Transform and Multiscale Chirplet Path Pursuit," *Shock Vib.*, vol. 2016, 2016.
- [10] R. B. Randall, *Vibration-Based Condition Monitoring*. 2011.
- [11] J. E. Berry, *How To Implement An Effective Condition Monitoring Program Using Vibration Analysis*. Charlotte: Technical Associates of Charlotte, P.C., 2002.
- [12] "What An 'FFT' Is Actually Made Up Of?" [Online]. Available: <http://www.vibrationschool.com/mans/Plots/SPlots05.htm>. [Accessed: 05-Oct-2021].
- [13] Commtest Instruments Ltd, *Beginner's Guide to Machine Vibration*. Christchurch, 2006.
- [14] "CSI 2140 Procedures, Lines of resolution," *Emerson Electric Co.*, 2021. [Online]. Available: https://reliabilitymobile.com/csi2140/Analyze/c_lines.html. [Accessed: 05-Oct-2021].
- [15] "How Many Lines of Resolution?" [Online]. Available: https://reliabilityweb.com/tips/article/how_many_lines_of_resolution/. [Accessed: 05-Oct-2021].
- [16] *Advance Vibration Analysis*. Knoxville, USA: Computational Systems Incorporated, 2002.
- [17] M. Fitch, "The Basics of Spectral Resolution for Motor Vibration Analysis," 2014. [Online]. Available: <https://www.pumpsandsystems.com/basics-spectral-resolution-motor-vibration-analysis>.
- [18] S. Braun, "Windows," in *Encyclopedia of Vibration*, 2001, pp. 1587–1595.
- [19] J. E. Berry, *Concentrated Vibration Signature Analysis and Related Condition Monitoring Techniques*. Charlotte: Technical Associates of Charlotte, P.C., 1997.