

Respon Vibrasi Overall dan Temperatur Komponen Mesin Terhadap Misalignment Axial

Andi Kurniawan

UPDL Suralaya, PLN PUSDIKLAT, Indonesia
andi.kurniawan@pln.co.id

ABSTRACT

Misalignment is one of the problems that often occurs in rotary equipment. In this paper, the observation was done to rotary machine model in response to changes of axial misalignment by using vibration meter and infrared thermography camera. The model was a machine series, consisting of electric motor and disc which was connected by 3 Jaw flexible coupling. The shafts were positioned into several axial misalignment conditions in order to see the effect on overall vibration value and its component temperature. The result of vibration observation showed that under certain condition, by increasing shaft misalignment then the overall vibration value tends to decrease. With the decrease of overall vibration value, the machine condition was not in better condition. This was indicated by observing the components temperature in this condition, which showed the opposite fact. As misalignment increases, the temperature of the engine components also increases.

Keywords: Axial Misalignment, overall vibration, temperature, flexible coupling

ABSTRAK

Misalignment merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada rotary equipment. Pada makalah ini dilakukan pengamatan respon vibrasi menggunakan peralatan vibration meter dan temperatur komponen mesin menggunakan kamera infrared thermography pada model mesin rotary yang mengalami misalignment axial poros. Model mesin yang digunakan pada percobaan ini adalah rangkaian mesin yang terdiri dari motor listrik dan disk yang dihubungkan menggunakan kopling fleksibel tipe 3 Jaw. Mesin diposisikan ke beberapa kondisi misalignment axial dengan menggeser rumah bearing menggunakan baut pengatur, untuk melihat efek yang ditimbulkannya terhadap nilai vibrasi overall dan temperatur komponen mesin. Hasil pengamatan vibrasi menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu, dengan bertambahnya misalignment poros akan menyebabkan nilai vibrasi overall menjadi turun. Dengan turunnya nilai vibrasi mesin tidak kemudian menjadikan kondisi mesin menjadi lebih baik. Hal ini ditunjukkan melalui pengamatan temperatur komponen mesin pada kondisi tersebut yang menunjukkan fakta sebaliknya. Dengan bertambahnya misalignment, temperatur komponen mesin juga semakin naik.

Kata Kunci: Misalignment axial, vibrasi overall, temperatur, kolong fleksibel

1. PENDAHULUAN

Rotary Equipment seperti pompa, fan, turbin, compressor dan peralatan lainnya merupakan jenis peralatan yang banyak digunakan di industri. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada rotary equipment dan menjadi penyebab vibrasi adalah misalignment. Misalignment adalah kejadian dimana dua buah poros yang terhubung oleh kopling tidak berada pada satu sumbu. Misalignment dapat terjadi karena kesalahan dalam instalasi, pondasi mesin yang tidak rata, poros yang bengkok, kesalahan pemasangan kopling, dan kesalahan pemasangan bearing. Pada beberapa kasus, nilai vibrasi yang timbul karena misalignment poros menunjukkan angka yang relatif kecil. Sehingga apabila dilakukan evaluasi menggunakan standar vibrasi, mesin masih dikategorikan ke kondisi yang baik. Walaupun demikian misalignment mempunyai potensi yang besar untuk menyebabkan kerusakan. Misalignment poros akan menimbulkan kelelahan material yang bisa menyebabkan kerusakan komponen mesin seperti pada kopling, poros, bahkan baut pengikat pondasi.

Dwell dan Mitchell [1] melakukan pengamatan vibrasi dari peralatan kopling metallic disk flexible menggunakan analisa real-time spectrum dan memprediksi frekuensi vibrasi yang dihasilkan karena misalignment adalah pada 2x dan 4x putaran poros. Pengamatan lebih lanjut dilakukan oleh Xu dan Marangoni [2] dengan melakukan eksperimen menggunakan model rotordynamic yang mengalami unbalance dan misalignment. Frekuensi vibrasi yang muncul pada spectrum karena unbalance dan misalignment adalah pada 1x dan 2x putaran poros. Kemudian Hariharan dan Srinivasan [3] melakukan simulasi terhadap model yang menggunakan kopling rigid dan fleksibel. Mereka menyimpulkan bahwa frekuensi vibrasi akibat misalignment pada kopling rigid dan fleksibel yang muncul pada spektrum adalah pada 2x putaran poros. Nilai vibrasi pada kopling fleksibel lebih kecil dibandingkan pada kopling rigid. Studi terhadap efek dari parallel dan axial misalignment dilakukan oleh Patel dan Darpe [4] pada peralatan yang memiliki poros ukuran berbeda, yang dihubungkan menggunakan kopling fleksibel dan menggunakan ball bearing. Mereka menemukan bahwa pada peralatan yang mengalami misalignment terjadi gaya bending pada arah longitudinal dan torsional. Mereka menyimpulkan bahwa parallel misalignment menghasilkan frekuensi 1x rpm lebih besar pada arah radial, sedangkan angular misalignment menghasilkan frekuensi 3x pada arah axial.

Leemaans, Destain dan Kilundu [5] melakukan studi mengenai kemungkinan infrared thermography untuk mengukur temperatur secara akurat dari komponen rotating equipment dalam lingkup condition monitoring. Dengan pengukuran temperatur yang akurat dan memperhitungkan perubahan temperatur dari komponen peralatan maka dapat dilakukan monitoring terhadap perubahan temperatur untuk mengetahui remaining life dari peralatan. Kemudian Fatima, Mohanty dan Naikan [6] melakukan studi pengembangan metodologi untuk mendeteksi misalignment poros menggunakan thermal imaging. Mereka melakukan pengukuran vibrasi menggunakan akselerometer dan vibrometer pada bearing, dan temperatur menggunakan thermal imaging camera pada kopling. Pengukuran temperatur dilakukan sebelum keadaan menjadi steady untuk mengetahui efek dari misalignment terhadap kenaikan temperatur. Jeffali, Kihel, Nougaoui dan Delaunois [7] menggunakan infrared thermography untuk mendeteksi kegagalan pada motor induksi dan dampaknya terhadap proses produksi. Kegagalan yang disebabkan oleh misalignment maka menimbulkan panas pada rotating machine. Tonks dan Wang [8] melakukan pengamatan terhadap turbin angin yang mengalami misalignment parallel dan angular menggunakan infrared thermometer. Kumar [9] melakukan percobaan menggunakan peralatan berupa poros yang memiliki dua buah disk dengan 4 jaw flexible coupling untuk memprediksi spektrum vibrasi dari misalignment. Dia membandingkan hasil pengukuran vibrasi dari poros yang align dan misalign pada posisi yang berbeda. Senthilkumar dan Sendhilkumar [10] melakukan pengamatan vibrasi pada motor single disk yang dibuat misalign dengan posisi yang berbeda dan putaran yang berbeda.

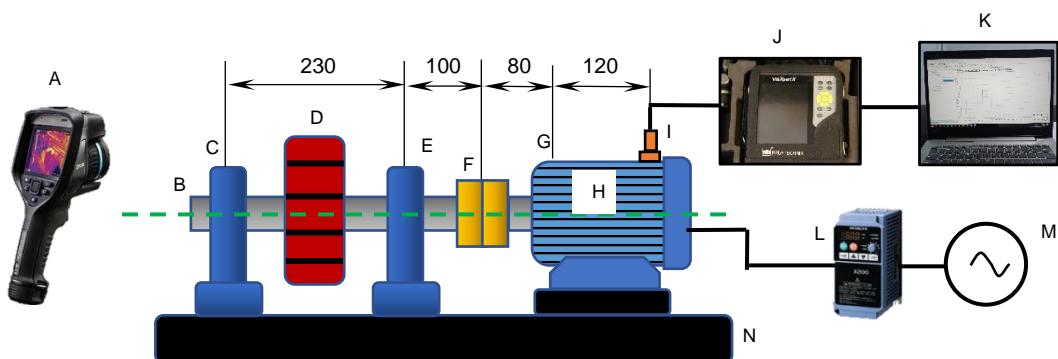
Pada makalah ini penulis melakukan pengamatan perubahan nilai vibrasi overall dan temperatur dari model mesin rotary kopling fleksibel yang mengalami misalignment poros dengan kondisi beragam. Pengukuran vibrasi overall dilakukan menggunakan peralatan vibration analyzer dengan sensor accelerometer di setiap orientasi arah pada semua bearing. Sedangkan pengukuran temperature dilakukan menggunakan kamera thermal imaging pada beberapa komponen mesin. Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui pola perubahan nilai vibrasi dan temperature komponen mesin yang diakibatkan oleh misalignment poros pada kondisi yang beragam.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui pengaruh pertambahan posisi misalignment poros terhadap vibrasi dan temperature komponen peralatan, percobaan dilakukan di laboratorium menggunakan model rangkaian mesin yang porosnya dihubungkan dengan kopling fleksibel dan diposisikan ke beberapa kondisi misalignment axial. Model tersebut terdiri dari motor, flexible coupling dan single disk rotor. Rotor yang digunakan mempunyai diameter 25 mm (0.98 inch) dan panjang 330 mm (12.99 inch). Rotor disupport oleh dua buah ball bearing yang identik dengan jarak antar bearing 230 mm (9.05 inch). Disk dengan berat 1 kg (2.2 lb), diameter 205 mm (8.07 inch) dan tebal 10 mm (0.39 inch) ditempatkan pada poros di tengah jarak antar bearing. Ada 36 buah lubang baut yang ditempatkan secara simetris pada sisi luar disk untuk menempatkan massa unbalance.

Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa dengan daya motor 0.4 kW (0.5 HP), 220 V dan mempunyai 2 kutub. Dalam eksperimen ini putaran motor diatur konstan pada putaran 1497 RPM. Kopling yang digunakan adalah flexible coupling tipe 3-jaw. Gambar 1 menunjukkan layout model mesin rotary kopling flexible.

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran vibrasi adalah Vibration Analyzer produk dari Pruftechnick, yaitu VibXpert II single channel dengan peralatan tambahan berupa sensor accelerometer, laser trigger sensor untuk mengukur putaran mesin, dan software Omnitrend untuk menampilkan grafik spectrum. Data vibrasi yang diukur adalah amplitude vibrasi total (overall vibration) dalam satuan Velocity (mm/s RMS) dan Grafik spektrum vibrasi dalam satuan velocity (mm/s RMS). Pengukuran vibrasi mesin dilakukan di rumah bearing yaitu di Motor Outboard, Motor Inboard, Disk Inboard dan Disk Outboard pada arah horizontal, vertical dan axial.



Gambar 1. Layout model mesin rotary kopling fleksibel. A, Thermal Imaging camera ; B, Poros ; C, Bearing Disk Outboard ; D, Disk ; E, Bearing Disk Inboard ; F, Kopling ; G, Bearing Motor Inboard ; H, Motor ; I, Accelerometer at Bearing Motor Outboard ; J, Vibration Analyzer VibXpert II ; K, Omnitrend Software ; L, Variable Frequency Drive ; M, Power Source ; N, Base plate

Pengamatan vibrasi dilakukan ketika mesin sudah dilakukan alignment dan saat mesin mengalami kondisi misalignment axial arah horizontal. Beberapa kondisi misalignment poros dalam eksperimen ini bisa dilihat pada Tabel 1. Untuk mendapatkan kondisi misalignment axial yang berbeda, rumah bearing Disk Inboard dan Disk Outboard digeser ke arah horizontal menggunakan baut pengatur sehingga didapatkan pergeseran yang smooth. Pengukuran jarak misalignment dilakukan menggunakan dial indicator yang ditempatkan pada rumah bearing, sehingga didapat ketelitian sebesar 0.01 mm.

Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan peralatan thermal imaging FLIR E60 pada komponen mesin yaitu bearing Motor Inboard, Kopling, Disk Inboard Dan Disk Outboard. Pengukuran temperature dilakukan pada setiap kondisi misalignment setelah pengukuran vibrasi, yaitu ketika mesin dioperasikan dan dalam kondisi temperature bearing yang steady. Dari pengamatan yang dilakukan penulis, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi temperature steady untuk komponen mesin dari masing-masing posisi misalignment adalah 30 menit. Untuk menghindari adanya pengaruh temperature dari kondisi misalignment yang sebelumnya, maka dilakukan pendinginan selama secara alami menggunakan sirkulasi udara selama 1 jam sebelum dilakukan percobaan pada kondisi selanjutnya.

Tabel 1. Posisi Misalignment Poros Mesin

Kondisi	Pergeseran Arah Horisontal Rumah Bearing		Sudut
	Disk Outboard	Disk Inboard	
Align	0 mm	0 mm	-
Misalign 1	0.5 mm	0.02 mm	0.09 °
Misalign 2	1 mm	0.03 mm	0.17 °
Misalign 3	1.5 mm	0.05 mm	0.26 °
Misalign 4	2 mm	0.06 mm	0.35 °
Misalign 5	2.5 mm	0.08 mm	0.43 °

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

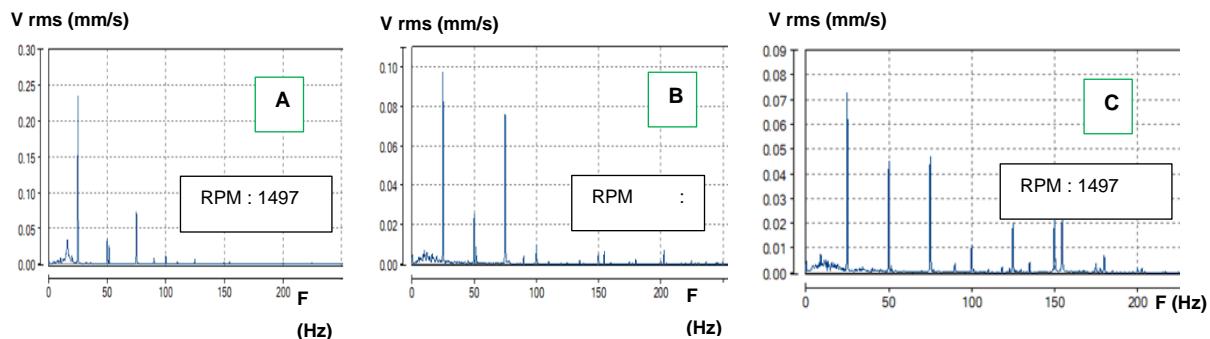
3.1. Data Vibrasi dan Temperatur Pada Kondisi Poros Sudah Dilakukan Alignment

Nilai vibrasi dan temperatur pada kondisi poros yang sudah dilakukan alignment digunakan sebagai pembanding terhadap beberapa kondisi misalignment selanjutnya. Pelaksanaan alignment dilakukan menggunakan feeler gauge dan Vernier caliper. Acuan yang digunakan untuk menentukan batasan toleransi misalignment dari poros yang menggunakan kopling fleksibel dan putaran poros 1500 RPM adalah standar yang dikeluarkan oleh Pruftechnik [11], dengan nilai toleransi offset misalignment 0.09 mm dan angular misalignment 0.07 mm. Setelah dilakukan alignment didapatkan hasil misalignment offset sebesar 0.05 mm dan misalignment angular sebesar 0.05 mm.

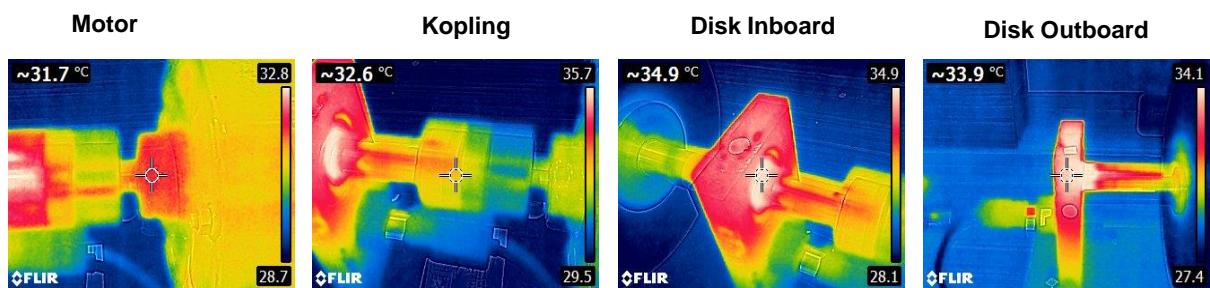
Hasil pengukuran spektrum dan timewaveform vibrasi dapat dilihat pada Gambar 2. Pada grafik spektrum vibrasi, amplitude dominan muncul pada frekuensi 1x, 2x dan 3x putaran mesin, yang mengindikasikan masih adanya sedikit misalignment pada poros. Hasil pengukuran vibrasi overall dari setiap bearing dapat dilihat pada Tabel 2. Penulis menggunakan acuan standar ISO 20816-1:2016 untuk menentukan kondisi mesin berdasarkan nilai vibrasi overall (mm/s RMS). Berdasarkan standar tersebut, kondisi mesin yang sudah dilakukan alignment berada pada Zona A karena nilai vibrasi overallnya dibawah 0.71 mm/s RMS.

Setelah pengukuran vibrasi selesai dilakukan, penulis kemudian melakukan pengukuran temperatur dari komponen mesin. Data hasil pengukuran temperatur ditunjukkan oleh Gambar 3. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa bearing disk inboard dan disk outboard memiliki temperatur

yang lebih tinggi dibandingkan bearing motor inboard dan kopling. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kedua bearing disk menerima gaya oleh poros yang lebih besar.



Gambar 2. Spektrum Bearing Disk Inboard Kondisi Poros Mesin Align. A. Bearing Disk Inboard Horizontal, B. Bearing Disk Inboard Vertical, C Bearing Disk Inboard Axial



Gambar 3. Temperatur komponen mesin pada kondisi poros yang sudah dilakukan alignment

3.2. Efek Penambahan Misalignment Terhadap Vibrasi Overall

Data vibrasi overall dari setiap orientasi arah di masing-masing bearing pada beberapa kondisi misalignment ditunjukkan oleh Tabel 2. Data overall tersebut kemudian diplot ke dalam grafik trend kondisi peralatan, yaitu pada Gambar 5.

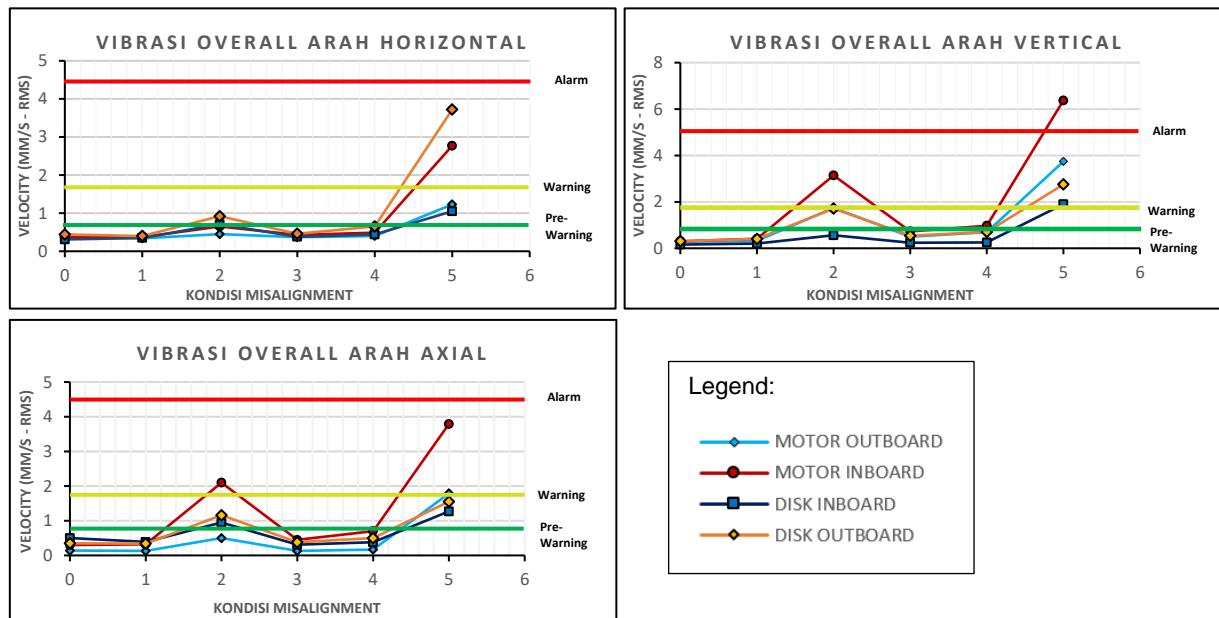
Penambahan nilai misalignment poros untuk tiap kondisi pada percobaan ini adalah sebesar 0.5 mm. Tabel 2 merupakan evaluasi kondisi mesin berdasarkan standar ISO 20816-1 : 2019. Berdasarkan data vibrasi overall pada Tabel 2, dapat kita lihat bahwa pada kondisi Align dan Misalign 1 mesin berada pada Zona A (New Machine Condition). Pada kondisi Misalign 2 mesin berada pada Zona C (Operated for Limited Period) dengan nilai vibrasi tertinggi terjadi pada bearing Motor Inboard. Pada Kondisi Misalign 3 dan 4 mesin berada pada Zona B (Unrestricted Long-Term Continuous Operation). Sedangkan pada kondisi Misalign 5, mesin berada pada Zona D (Vibration Cause Damage) dengan vibrasi tertinggi terjadi pada Bearing Motor Inboard.

Tabel 2. Vibrasi Overall dan Kondisi Mesin Berdasar ISO 20816-1:2019 Pada Setiap Kondisi Misalignment

Kondisi	Pergesekan Disk Outboard	VIBRASI OVERALL (mm/s - RMS)											
		MOTOR OUTBOARD			MOTOR INBOARD			DISK INBOARD			DISK OUTBOARD		
		H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
Align	0 mm	0.37	0.28	0.14	0.36	0.3	0.3	0.31	0.16	0.5	0.44	0.3	0.35
Misalign 1	0.5 mm	0.34	0.32	0.13	0.37	0.41	0.32	0.35	0.2	0.39	0.4	0.4	0.34
Misalign 2	1 mm	0.45	1.74	0.5	0.65	3.14	2.1	0.71	0.56	0.95	0.92	1.71	1.16
Misalign 3	1.5 mm	0.37	0.5	0.13	0.43	0.73	0.45	0.38	0.24	0.31	0.46	0.54	0.38
Misalign 4	2 mm	0.4	0.69	0.17	0.49	0.97	0.7	0.44	0.25	0.38	0.65	0.7	0.5
Misalign 5	2.5 mm	1.23	3.74	1.79	2.77	6.37	3.79	1.05	1.97	1.27	3.72	2.75	1.55

Keterangan warna tabel (berdasarkan standar ISO 20816-1:2019):

- | | | | |
|--|---|--|---|
| | : Zona A (New Machine Condition) | | : Zona C (Operated for Limited Period) |
| | : Zona B (Unrestricted Long-Term Continuous Operation) | | : Zona D (Vibration Cause Damage) |

**Gambar 4.** Pola Vibrasi Mesin Pada Beberapa Kondisi Misalignment

Gambar 4 adalah grafik yang menggambarkan pola vibrasi overall dari setiap titik pengukuran akibat penambahan jarak misalignment poros. Jika kita lihat pola vibrasi yang terjadi, penambahan jarak misalignment dari kondisi Align sampai Misalign 2 akan menyebabkan nilai vibrasi overall naik. Akan tetapi ketika jarak misalignment ditambah yaitu pada kondisi Misalign 3, nilai vibrasi

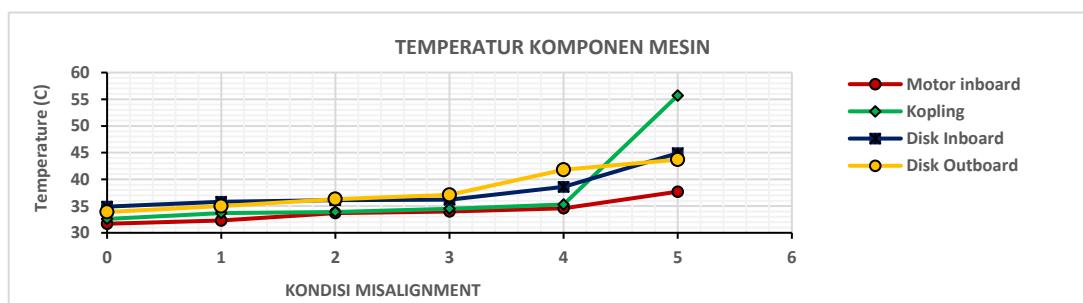
justru menjadi turun. Berdasarkan Standar ISO, status kondisi mesin juga lebih bagus yaitu dari Zona C menjadi Zona B. Selanjutnya, penambahan jarak misalignment dari Misalign 3 ke Misalign 5 akan menyebabkan kenaikan nilai vibrasi dan memperburuk status kondisi mesin

3.3. Efek Penambahan Misalignment Terhadap Temperatur Komponen Mesin

Misalignment axial akan menimbulkan konsentrasi tekanan dan gesekan pada bagian tertentu di komponen mesin, sehingga temperaturnya akan naik ketika mesin dioperasikan. Data hasil pengukuran temperatur dari komponen mesin pada tiap kondisi misalignment poros dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 3. Temperatur Komponen Mesin Pada Tiap Kondisi Misalignment

Kondisi	Pergeseran Disk Outboard	Temperatur			
		Motor Inboard	Kopling	Disk Inboard	Disk Outboard
Align	0 mm	31.7 °C	32.6 °C	34.9 °C	33.9 °C
Misalign 1	0.5 mm	32.3 °C	33.7 °C	35.8 °C	35 °C
Misalign 2	1 mm	33.7 °C	33.9 °C	36.1 °C	36.3 °C
Misalign 3	1.5 mm	34 °C	34.5 °C	36.2 °C	37.1 °C
Misalign 4	2 mm	34.6 °C	35.3 °C	38.6 °C	41.8 °C
Misalign 5	2.5 mm	37.7 °C	55.7 °C	44.9 °C	43.7 °C



Gambar 5. Trend Temperatur Komponen Mesin

Berdasarkan data pengukuran temperatur pada Tabel 3 dan Gambar 5, dapat penambahan jarak misalignment akan meningkatkan temperatur komponen mesin. Kenaikan temperatur komponen mesin paling tinggi terjadi pada kondisi Misalign 5, yaitu ketika Disk Outboard digeser sejauh 2.5 mm. Komponen mesin yang mengalami kenaikan temperatur tertinggi adalah kopling, yaitu dari temperatur 35.3 °C menjadi 55.7 °C. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini, kopling mengalami konsentrasi gaya tertinggi dibandingkan dengan komponen mesin lainnya.

Misalignment yang terjadi pada mesin akan menyebabkan stress dan gesekan pada komponen mesin sehingga menimbulkan panas. Semakin tinggi stress maupun gesekan yang diterima oleh komponen mesin, maka temperaturnya akan semakin tinggi.

4. KESIMPULAN

Nilai vibrasi overall dan temperatur komponen dari mesin rotary dengan kopling flexible yang mengalami penambahan misalignment axial menunjukkan pola yang berbeda. Grafik trend vibrasi overall terhadap penambahan misalignment axial akan membentuk pola yang naik turun. Sedangkan dari pengamatan temperatur komponen mesin, didapat informasi bahwa kenaikan temperatur

komponen mesin akan sebanding dengan penambahan jarak misalignment. Pada jarak tertentu, misalignment axial justru membuat vibrasi mesin menjadi sangat kecil. Bahkan ketika dilakukan evaluasi menggunakan standar vibrasi internasional, pada kondisi tersebut mesin masih dikategorikan baik. Akan tetapi nilai temperatur komponen mesin menunjukkan hal yang sebaliknya. Pada kondisi tersebut komponen mesin mengalami kenaikan temperatur, yang berarti stress yang dialami oleh komponen mesin meningkat. Berdasarkan hasil eksperimen tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa pengamatan temperatur menggunakan peralatan infrared thermography dapat digunakan sebagai pertimbangan tambahan selain berdasarkan data vibrasi untuk menentukan status kondisi mesin yang mengalami misalignment.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. L. Dewell and L. D. Mitchell, “Detection of a Misaligned Disk Coupling Using Spectrum Analysis,” *J. Vib. Acoust.*, vol. 106, no. 1, pp. 9–16, Jan. 1984.
- [2] M. Xu and R. D. Marangoni, “Vibration analysis of a motor-flexible coupling-rotor system subject to misalignment and unbalance, part ii: Experimental validation,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 176, no. 5, pp. 681–691, 1994.
- [3] V. Hariharan and P. S. S. Srinivasan, “Vibration analysis of misaligned shaft -ball bearing system,” *Songklanarin J. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 1, pp. 61–68, 2011.
- [4] T. Patel and A. Darpe, “Vibration response of misaligned rotors,” *J. Sound Vib.*, vol. 325, no. 3, pp. 609–628, 2009.
- [5] V. Leemans, M.-F. Destain, B. Kilundu, and P. Dehombreux, “Evaluation of the Performance of Infrared Thermography for On-Line Condition Monitoring of Rotating Machines,” *Engineering*, vol. 03, no. 10, pp. 1030–1039, 2011.
- [6] S. Fatima, A. R. Mohanty, and V. N. A. Naikan, “A misalignment detection methodology by measuring rate of temperature rise of shaft coupling using thermal imaging,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part O J. Risk Reliab.*, vol. 229, no. 3, pp. 209–219, 2015.
- [7] F. Jeffali, B. EL Kihel, A. Nougaoui, and F. Delaunois, “Monitoring and diagnostic misalignment of asynchronous machines by infrared thermography,” *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 4, pp. 1192–1199, 2015.
- [8] O. Tonks and Q. Wang, “The detection of wind turbine shaft misalignment using temperature monitoring,” *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 17, pp. 71–79, 2017.
- [9] S. Kumar, “Vibration Signature Analysis of 4 Jaw Flexible Coupling Considering Misalignment in Two Planes .,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 73–84, 2015.
- [10] 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.
- [11] Prüftechnik, *An Engineer’s Guide to Shaft Alignment, Vibration Analysis, Dynamic Balancing & Wear Debris Analysis*, 8.011. Staffordshire: PRUFTECHNIK LTD, 2002.