

## Analisis Getaran Pada *Primary Air Fan* (PAF) Sebagai Dasar *Predictive Maintenance* Pada Sistem Boiler CFB MB 26 PT Indah Kiat Pulp And Paper Tbk Perawang

Armin Jon Tua Manalu<sup>a</sup>, Abdul Gafur<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi Dan Perawatan, Politeknik Negeri Bengkalis, Jalan Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau 28751, Indonesia

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat Artikel:

Diterima 25 Juni 2026  
Diterima setelah direvisi 3 Juli 2026  
Disetujui 4 Juli 2026

#### Kata kunci:

Primary Air Fan  
Analisis getaran  
Predictive maintenance  
ISO 10816-3  
Boiler CFB

**Abstract-** Primary Air Fan (PAF) is an important rotating equipment in the Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler system that supplies primary air to support the fluidization and combustion processes. The reliability of the PAF significantly affects combustion stability and steam production continuity. This study aims to analyze the vibration characteristics of Primary Air Fan units as a basis for predictive maintenance implementation in the Boiler CFB MB 26 system at PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang. Vibration measurements were conducted using an SKF QuickCollect Sensor, while bearing temperatures were measured using an infrared thermal gun. The collected data were analyzed using the Root Mean Square (RMS) method and evaluated according to ISO 10816-3 standards. The results showed that PAF A had a maximum vibration value of 0.5 mm/s and was classified in Zone A (Good Condition), while PAF B reached 1.7 mm/s and was classified in Zone B (Acceptable Condition) with an indication of slight unbalance. Bearing temperatures ranged from 31.1°C to 42.4°C and remained within normal operating limits. The results indicate that vibration analysis is effective for machine condition monitoring and supports predictive maintenance implementation.

**Intisari-** Primary Air Fan (PAF) merupakan peralatan berputar yang berfungsi menyuplai udara primer pada sistem Boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB). Keandalan PAF sangat mempengaruhi kestabilan proses pembakaran dan kontinuitas produksi uap. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik getaran *Primary Air Fan* sebagai dasar penerapan *predictive maintenance* pada Boiler CFB MB 26 PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang. Pengukuran getaran dilakukan menggunakan SKF *QuickCollect Sensor*, sedangkan temperatur bearing diukur menggunakan *infrared thermal gun*. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode *Root Mean Square* (RMS) dan dievaluasi berdasarkan standar ISO 10816-3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PAF A memiliki nilai getaran maksimum sebesar 0,5 mm/s sehingga termasuk Zona A (*Good Condition*), sedangkan PAF B memiliki nilai getaran maksimum sebesar 1,7 mm/s sehingga termasuk Zona B (*Acceptable Condition*) dengan indikasi awal *unbalance* ringan. Temperatur bearing berada pada rentang 31,1–42,4°C dan masih dalam batas operasi normal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis getaran efektif digunakan untuk pemantauan kondisi mesin dan mendukung penerapan *predictive maintenance*.

### 1. Pendahuluan

Industri pulp dan kertas merupakan salah satu sektor industri yang membutuhkan sistem produksi dengan tingkat keandalan tinggi karena proses operasional berlangsung secara kontinu selama 24 jam. Dalam mendukung kebutuhan energi panas dan pembangkitan uap, PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang menggunakan sistem Boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB) yang dikenal memiliki efisiensi pembakaran tinggi serta mampu menggunakan berbagai jenis bahan bakar dengan emisi yang relatif rendah [1].

Pada sistem Boiler CFB, *Primary Air Fan* (PAF) memiliki peranan penting sebagai pemasok udara primer yang digunakan untuk membantu proses fluidisasi material dan pembakaran bahan bakar di dalam furnace.

Kondisi operasi PAF sangat mempengaruhi stabilitas pembakaran pada boiler. Gangguan yang terjadi pada *Primary Air Fan* dapat menyebabkan terganggunya suplai udara pembakaran sehingga berpotensi menimbulkan trip boiler dan *downtime* produksi yang tidak direncanakan.

Sebagai salah satu mesin rotasi dengan beban operasi tinggi, *Primary Air Fan* rentan mengalami gangguan mekanis seperti ketidakseimbangan putaran (*unbalance*), ketidaksejajaran poros (*misalignment*), kelonggaran mekanis (*looseness*), serta kerusakan bearing. Salah satu indikator awal yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi tersebut adalah getaran mesin. Getaran yang meningkat melebihi batas normal dapat menunjukkan adanya gangguan pada komponen mekanis yang memerlukan tindakan perawatan lebih lanjut [2].

Analisis getaran merupakan salah satu metode *condition monitoring* yang banyak digunakan dalam industri untuk mendeteksi kondisi kesehatan

\* Corresponding Author:

E-mail: [abdulgafur@polbeng.ac.id](mailto:abdulgafur@polbeng.ac.id) (Abdul Gafur)

mesin tanpa melakukan pembongkaran komponen. Metode ini dilakukan dengan menganalisis *amplitudo* dan *frekuensi* getaran yang dihasilkan mesin selama beroperasi. Data getaran kemudian dibandingkan dengan standar tertentu seperti ISO 10816-3 untuk menentukan tingkat kondisi mesin [3].

Selain parameter getaran, temperatur bearing juga digunakan sebagai indikator pendukung dalam *condition monitoring*. Peningkatan temperatur pada bearing dapat mengindikasikan adanya gesekan berlebih, kekurangan pelumasan, ketidaksejajaran, atau kerusakan komponen internal. Oleh karena itu, pengukuran temperatur diperlukan untuk memperkuat hasil analisis getaran sehingga kondisi mesin dapat dievaluasi secara lebih akurat dan menyeluruh.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis getaran merupakan metode yang efektif dalam mendeteksi kondisi mesin rotasi. Tiboni et al. [2] menyatakan bahwa *vibration analysis* mampu mengidentifikasi gangguan seperti *unbalance* dan *misalignment* pada peralatan berputar. Penelitian lain oleh Darmawan et al. [3] juga menunjukkan bahwa penerapan *vibration monitoring* pada *Primary Air Fan* dapat membantu meningkatkan keandalan operasi dengan mendeteksi kerusakan sejak dini. Selain itu, pendekatan *predictive maintenance* berbasis data getaran telah banyak digunakan dalam industri untuk mengurangi *downtime* dan meningkatkan efisiensi perawatan [8], [9], [10].

Penerapan *predictive maintenance* berbasis *vibration analysis* dapat membantu perusahaan dalam mendeteksi kerusakan lebih awal sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar. Strategi ini dinilai lebih efektif dibandingkan perawatan *reaktif* karena mampu mengurangi *downtime* tidak terencana dan meningkatkan keandalan operasi mesin [4].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik getaran pada *Primary Air Fan* sebagai dasar penerapan *predictive maintenance* pada sistem Boiler CFB MB 26 di PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang.

## 2. Metodologi

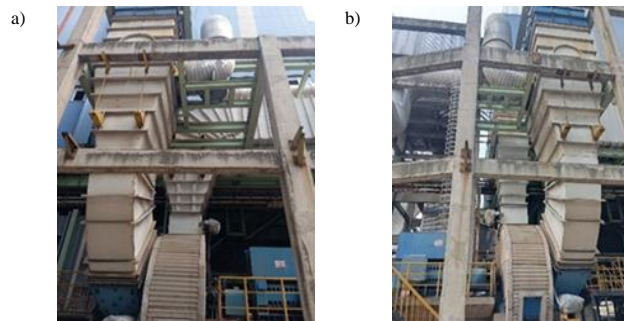
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *condition monitoring* untuk menganalisis kondisi getaran pada *Primary Air Fan* (PAF) sebagai dasar penerapan *predictive maintenance* pada sistem Boiler CFB MB 26 di PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang.

Objek penelitian difokuskan pada unit *Primary Air Fan* yang beroperasi secara kontinu sebagai pemasok udara primer pada proses pembakaran boiler. *Primary Air Fan* memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan proses *fluidisasi* dan pembakaran bahan bakar di dalam *furnace*. Gangguan yang terjadi pada unit ini dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran, menurunkan performa boiler, serta berpotensi menyebabkan gangguan operasional yang berdampak pada kontinuitas proses produksi. Oleh karena itu, pemantauan kondisi mesin melalui analisis getaran diperlukan untuk mendeteksi potensi kerusakan sejak dini dan meningkatkan keandalan peralatan.



Gambar 1. Boiler CFB MB 26

Gambar 1 menunjukkan sistem Boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB) MB 26 yang digunakan sebagai unit pembangkit uap pada proses produksi di PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang. Sistem boiler ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti *furnace*, *cyclone separator*, *economizer*, *air heater*, dan *Primary Air Fan* (PAF). Pada sistem tersebut terdapat dua unit *Primary Air Fan*, yaitu PAF A dan PAF B, yang berfungsi menyuplai udara primer ke dalam *furnace* untuk mendukung proses *fluidisasi* material *bed* serta menjaga kestabilan proses pembakaran. Kinerja kedua unit *fan* tersebut sangat berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran dan kontinuitas operasi boiler sehingga diperlukan pemantauan kondisi secara berkala melalui analisis getaran dan temperatur.



Gambar 2. Gambar PAF (a) PAF A (b) PAF B

Gambar 2 menunjukkan unit *Primary Air Fan* (PAF A dan PAF B) yang digunakan sebagai objek penelitian pada sistem Boiler CFB MB 26 PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang. *Primary Air Fan* berfungsi sebagai pemasok udara primer ke dalam *furnace* untuk mendukung proses *fluidisasi* material *bed* dan pembakaran bahan bakar. Pengukuran getaran dan temperatur dalam penelitian ini dilakukan pada bearing housing sisi *Drive End* (DE) dan *NonDrive End* (NDE) dari masing-masing unit fan untuk mengevaluasi kondisi operasi mesin sebagai dasar penerapan *predictive maintenance*.

Selain itu, pengukuran temperatur dilakukan menggunakan *infrared thermal gun* untuk mengetahui kondisi panas pada area bearing dan komponen pendukung lainnya.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, pengukuran langsung, dan dokumentasi kondisi mesin selama beroperasi. Observasi digunakan untuk mengetahui kondisi aktual *Primary Air Fan* dan sistem operasi boiler, sedangkan dokumentasi digunakan sebagai pendukung dalam proses analisis kondisi mesin.

Metode analisis data yang digunakan adalah *vibration analysis* dengan pendekatan *Root Mean Square* (RMS). Analisis RMS digunakan untuk menentukan tingkat amplitudo getaran mesin dan mengevaluasi kondisi operasional *Primary Air Fan* berdasarkan nilai getaran yang terukur

Nilai *Root Mean Square* (RMS) digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi tingkat getaran mesin. RMS merupakan nilai efektif yang merepresentasikan energi getaran secara keseluruhan dan banyak digunakan dalam pemantauan kondisi mesin berputar [2]. Persamaan RMS dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$RMS = \frac{1}{n} \sum_i^n = 1 X_i^2 \tag{1}$$

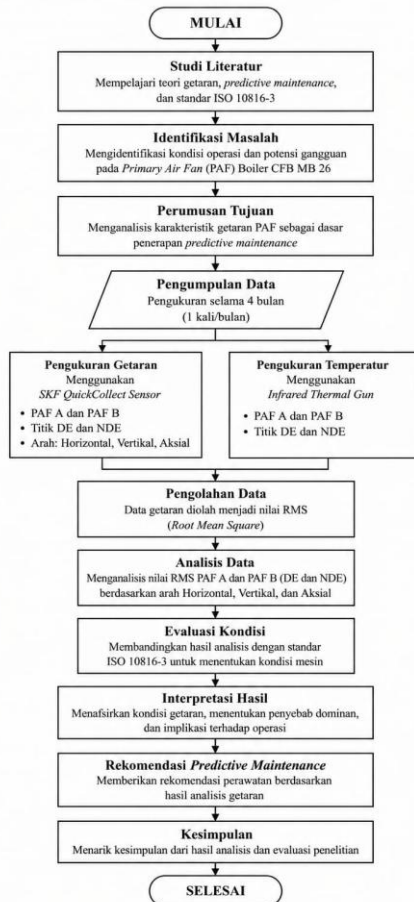
Keterangan:

- RMS = nilai efektif getaran (mm/s)
- $x_i$  = nilai amplitudo getaran
- $n$  = jumlah data pengukuran

Pada penelitian ini, nilai RMS diperoleh secara langsung dari SKF *QuickCollect* Sensor yang secara otomatis mengolah sinyal getaran menjadi nilai RMS dalam satuan mm/s. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar evaluasi kondisi mesin berdasarkan standar ISO 10816-3.

2.1 Diagram Alir

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk memperoleh hasil analisis yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk memahami teori dasar mengenai getaran mesin, *condition monitoring*, *predictive maintenance*, serta standar evaluasi getaran berdasarkan ISO 10816-3. Selanjutnya dilakukan observasi lapangan dan identifikasi permasalahan pada *Primary Air Fan* (PAF) Boiler CFB MB 26 guna mengetahui kondisi aktual peralatan yang menjadi objek penelitian. Setelah permasalahan teridentifikasi, dilakukan perumusan tujuan penelitian dan penentuan metode pengambilan data. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran getaran menggunakan SKF *QuickCollect Sensor* dan pengukuran temperatur menggunakan *Infrared Thermal Gun* pada unit PAF A dan PAF B di titik *Drive End* (DE) dan *Non Drive End* (NDE) dengan arah pengukuran horizontal, vertikal, dan aksial. Data hasil pengukuran kemudian diolah menjadi nilai RMS (*Root Mean Square*) sebagai parameter utama dalam mengevaluasi tingkat getaran mesin. Hasil pengolahan data selanjutnya dianalisis dan dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 untuk menentukan kondisi operasional mesin. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut dilakukan interpretasi kondisi peralatan guna mengidentifikasi potensi gangguan yang mungkin terjadi serta menyusun rekomendasi tindakan *predictive maintenance* yang sesuai. Seluruh tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir

2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Alat ukur getaran  
*Vibration* meter SKF *QuickCollect Sensor* digunakan untuk mengukur nilai getaran pada mesin dengan rentang kecepatan maksimum hingga 55 mm/detik, alat ukur ini buatan Jerman ini mampu beroperasi pada rentang suhu -20 °C hingga 60 °C serta telah memenuhi standart sertifikasi keamanan internasional ATEX,IECx, dan CSAkelas 1 Divisi 2



Gambar 4 SKF QuickCollect Sensor.

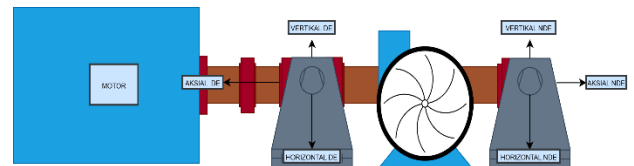
2. Alat ukur temperatur  
*Thermometer infrared Fluke 62 MAX+* digunakan untuk mengukur temperatur bearing pada rentang -30 °C hingga 650 °C dengan akurasi ±1,0 °C, waktu respons <300 ms, rasio optik 12:1, serta emisivitas yang dapat diatur dari 0,10 hingga 1,00.



Gambar 5. Infrared thermogun fluke

3. Laptop  
Laptop digunakan untuk pengolahan data hasil pengukuran, pembuatan grafik, dan analisis menggunakan *software microsoft excel*.

2.3 Skema Titik Pengukuran



Gambar 6. Skema titik pengukuran pada PAF

Gambar 6 ini menunjukkan skema titik pengukuran getaran pada *Primary Air Fan* (PAF) yang digunakan sebagai dasar dalam pengambilan data pada penelitian ini. Pengukuran dilakukan pada sisi *Drive End* (DE) dan *Non-Drive End* (NDE) dengan arah pengukuran horizontal, vertikal, dan aksial pada masing-masing titik bearing *housing*. Penentuan titik pengukuran ini mengacu pada praktik umum *vibration-based condition monitoring* pada mesin berputar, di mana pengukuran pada *housing bearing*

digunakan untuk merepresentasikan respons dinamis mesin selama operasi [1], [2].

Pendekatan pengukuran pada titik tersebut umum digunakan dalam analisis kondisi mesin rotasi karena mampu menangkap karakteristik getaran yang berkaitan dengan kondisi mekanis seperti *unbalance* maupun *misalignment* [4], [9]. Oleh karena itu, skema pada Gambar 6 digunakan sebagai acuan dalam memperoleh data getaran yang representatif untuk mendukung evaluasi kondisi operasional *Primary Air Fan* pada sistem Boiler CFB MB 26.

2.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengevaluasi nilai amplitudo getaran pada arah horizontal, vertikal, dan aksial. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan vibration analysis untuk mengetahui karakteristik gangguan mekanis yang terjadi pada *Primary Air Fan*.

Selanjutnya, data dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 untuk menentukan tingkat kondisi mesin. Analisis juga dilakukan terhadap tren perubahan nilai getaran pada setiap periode pengukuran guna mengetahui kecenderungan peningkatan atau penurunan kondisi mesin. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, dilakukan identifikasi potensi kerusakan seperti *unbalance*, *misalignment*, *looseness*, dan kerusakan bearing sebagai dasar penyusunan rekomendasi *predictive maintenance*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Getaran dan Temperatur

Hasil pengukuran getaran pada *Primary Air Fan* (PAF A dan PAF B) pada sistem Boiler CFB MB 26 PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1. Data Getaran dan Temperatur PAF A

Periode	Tanggal	Posisi	DE (mm/s)	NDE (mm/s)	Temp DE (°C)	Temp NDE (°C)
Bulan 1	20-Jan-26	Horizontal	0,1	0,3	35,3	36,7
		Vertikal	0,2	0		
		Aksial	0	0		
Bulan 2	25-Jan-26	Horizontal	0,3	0,4	41,4	39,5
		Vertikal	0,1	0,1		
		Aksial	0	0		
Bulan 3	04-Mar-26	Horizontal	0,4	0,4	31,1	38,6
		Vertikal	0,1	0		
		Aksial	0	0		
Bulan 4	23-Apr-26	Horizontal	0,4	0,5	41,2	40,8
		Vertikal	0,1	0		
		Aksial	0	0		

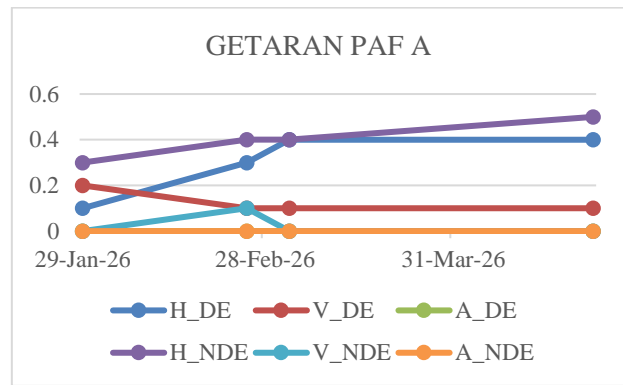
Berdasarkan Tabel 1, nilai getaran horizontal PAF A berada pada rentang 0,1–0,5 mm/s, sedangkan getaran vertikal berada pada rentang 0–0,2 mm/s. Pengukuran aksial menunjukkan nilai 0 mm/s pada seluruh periode pengamatan. Temperatur bearing sisi *Drive End* (DE) berada pada rentang 31,1–41,4°C dan sisi *Non Drive End* (NDE) berada pada rentang 36,7–40,8°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi getaran dan temperatur PAF A masih berada pada tingkat yang rendah dan stabil selama periode pengamatan.

Tabel 2. Data Getaran dan Temperatur PAF B

Periode	Tanggal	Posisi	DE (mm/s)	NDE (mm/s)	Temp DE (°C)	Temp NDE (°C)
Bulan 1	20-Jan-26	Horizontal	1,3	0,3	35,3	36,4
		Vertikal	0,3	0		
		Aksial	0	0		
Bulan 2	25-Jan-26	Horizontal	1,5	0,4	42,4	40,1
		Vertikal	0,3	0,1		
		Aksial	0	0		
Bulan 3	04-Mar-26	Horizontal	1,6	0,7	38,7	38,9
		Vertikal	0,3	0,2		
		Aksial	0	0		
Bulan 4	23-Apr-26	Horizontal	1,7	0,7	40,7	41,1
		Vertikal	0,4	0,2		
		Aksial	0	0		

Berdasarkan Tabel 2, nilai getaran horizontal PAF B berada pada rentang 0,3–1,7 mm/s, sedangkan getaran vertikal berada pada rentang 0–0,4 mm/s. Nilai getaran aksial tercatat 0 mm/s pada seluruh periode pengamatan. Temperatur bearing sisi *Drive End* (DE) berada pada rentang 35,3–42,4°C dan sisi *Non Drive End* (NDE) berada pada rentang 36,4–41,1°C. Nilai getaran PAF B lebih tinggi dibandingkan PAF A, terutama pada arah horizontal.

3.2 Analisis Getaran PAF A



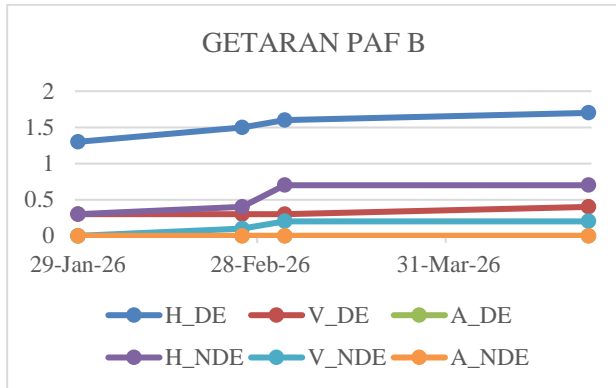
Gambar 7. Grafik getaran PAF A

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 4, nilai getaran *Primary Air Fan* (PAF A) menunjukkan kondisi operasi yang stabil selama empat periode pengamatan. Pada arah horizontal sisi *Drive End* (DE), nilai getaran meningkat dari 0,1 mm/s pada bulan pertama menjadi 0,4 mm/s pada bulan ketiga dan keempat. Pada sisi *Non Drive End* (NDE), nilai getaran horizontal berada pada rentang 0,3–0,5 mm/s dengan nilai tertinggi sebesar 0,5 mm/s pada bulan keempat.

Nilai getaran vertikal berada pada rentang 0–0,2 mm/s dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan selama periode pengamatan. Sementara itu, nilai getaran aksial tercatat 0 mm/s pada seluruh titik pengukuran.

Berdasarkan hasil tersebut, amplitudo getaran PAF A masih tergolong sangat rendah dan berada jauh di bawah batas evaluasi Zona B menurut ISO 10816-3. Kondisi ini menunjukkan bahwa unit PAF A masih beroperasi dalam kondisi baik tanpa indikasi gangguan mekanis seperti *unbalance*, *misalignment* maupun kerusakan bearing.

3.3 Analisis Getaran PAF B



Gambar 8. Grafik getaran PAF B

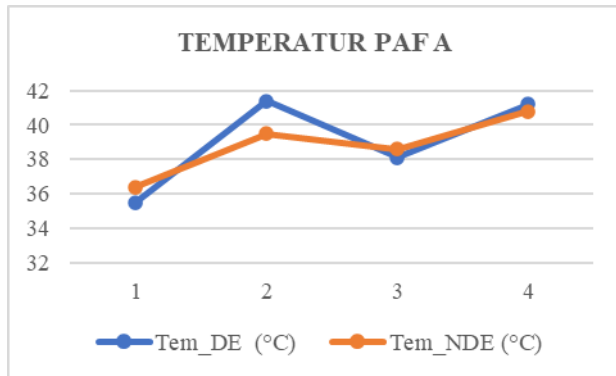
Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 5, nilai getaran *Primary Air Fan* (PAF B) menunjukkan amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan PAF A dengan kecenderungan meningkat selama periode pengamatan. Pada arah horizontal sisi *Drive End* (DE), nilai getaran meningkat dari 1,3 mm/s pada bulan pertama menjadi 1,7 mm/s pada bulan keempat. Pada sisi *Non Drive End* (NDE), nilai getaran meningkat dari 0,3 mm/s menjadi 0,7 mm/s.

Pada arah vertikal, nilai getaran sisi DE berada pada rentang 0,3–0,4 mm/s, sedangkan sisi NDE berada pada rentang 0–0,2 mm/s. Nilai getaran aksial tercatat 0 mm/s selama seluruh periode pengamatan.

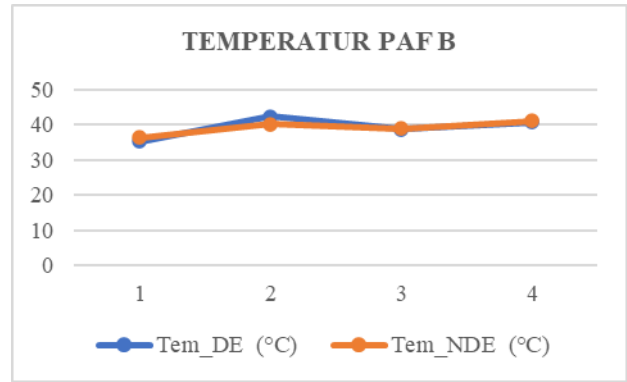
Dominasi getaran pada arah horizontal dibandingkan arah vertikal dan aksial menunjukkan adanya indikasi awal ketidakseimbangan putaran (*unbalance*) pada komponen yang berputar [4]. Meskipun demikian, nilai getaran maksimum sebesar 1,7 mm/s masih berada dalam kategori *Acceptable Condition* berdasarkan ISO 10816-3 sehingga unit masih layak dioperasikan dengan pemantauan berkala.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Tibone et al [2]. yang menyatakan bahwa dominasi getaran pada arah horizontal dapat menjadi indikasi awal terjadinya *unbalance* pada mesin rotasi.

3.4 Analisis Temperatur Bearing



Gambar 10. Grafik Temperatur Bearing PAF A



Gambar 9. Grafik Temperatur Bearing PAF B

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7, temperatur bearing pada kedua unit *Primary Air Fan* menunjukkan kondisi operasi yang stabil selama periode pengamatan. Pada PAF A, temperatur sisi *Drive End* berada pada rentang 31,1–41,4°C sedangkan sisi *Non Drive End* berada pada rentang 36,7–40,8°C.

Pada PAF B, temperatur sisi *Drive End* berada pada rentang 35,3–42,4°C sedangkan sisi *Non Drive End* berada pada rentang 36,4–41,1°C.

Temperatur tertinggi tercatat pada PAF B sisi *Drive End* sebesar 42,4°C pada bulan kedua, sedangkan temperatur terendah tercatat pada PAF A sisi *Drive End* sebesar 31,1°C pada bulan ketiga. Seluruh nilai temperatur masih berada di bawah batas temperatur operasi normal bearing sehingga tidak menunjukkan indikasi *overheating* maupun degradasi pelumasan. Hasil ini memperkuat analisis getaran yang menunjukkan bahwa kondisi bearing pada kedua unit masih dalam keadaan baik.

Selain analisis berbasis getaran, penelitian oleh Kiranyaz et al. [6] menjelaskan bahwa kombinasi parameter *vibrasi* dan sinyal lain, seperti temperatur maupun akustik, dapat meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap potensi kerusakan pada mesin berputar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi temperatur bearing yang masih normal memperkuat hasil analisis getaran sehingga evaluasi kondisi *Primary Air Fan* menjadi lebih akurat.

3.5 Evaluasi ISO 10816-3

Berdasarkan standar ISO 10816-3 [7], nilai getaran tertinggi pada PAF A adalah 0,5 mm/s sehingga termasuk ke dalam Zona A (*Good Condition*). Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin masih beroperasi dengan tingkat getaran yang sangat baik dan aman untuk operasi berkelanjutan sesuai kriteria evaluasi pada standart tersebut.

Nilai getaran tertinggi pada PAF B mencapai 1,7 mm/s sehingga termasuk ke dalam Zona B (*Acceptable Condition*) berdasarkan ISO 10816-3 [7]. Meskipun masih layak dioperasikan, tren peningkatan getaran horizontal menunjukkan perlunya *monitoring* berkala untuk mencegah peningkatan getaran menuju Zona C yang mengindikasikan kondisi peringatan.

3.6 Identifikasi Gangguan Mekanis

Berdasarkan pola getaran yang diperoleh, PAF A tidak menunjukkan indikasi gangguan mekanis yang signifikan karena seluruh nilai getaran berada pada tingkat yang rendah dan stabil.

Pada PAF B ditemukan indikasi awal *unbalance* ringan yang ditunjukkan oleh dominasi getaran pada arah horizontal dibandingkan arah vertikal dan aksial. Nilai getaran horizontal sisi DE mencapai 1,7 mm/s sedangkan getaran vertikal maksimum hanya 0,4 mm/s dan getaran aksial tetap 0 mm/s selama periode pengamatan.

Tidak ditemukan indikasi kuat terjadinya *misalignment* maupun kerusakan bearing karena tidak terdapat peningkatan signifikan pada arah aksial serta temperatur bearing masih berada dalam batas operasi normal.

### 3.7 Implikasi Predictive Maintenance

Hasil analisis menunjukkan bahwa *vibration monitoring* efektif digunakan sebagai metode *predictive maintenance* pada sistem Boiler CFB. PAF B yang berada pada Zona B dapat dijadikan objek *monitoring* lanjutan untuk mencegah peningkatan kerusakan menuju kondisi kritis.

Temuan ini juga didukung oleh Aburakhia et al. [5] yang menyatakan bahwa *vibration monitoring* merupakan metode yang efektif dalam penerapan *predictive maintenance* pada peralatan berputar.

## 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada *Primary Air Fan* (PAF) di sistem Boiler CFB MB 26 PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang, dapat disimpulkan bahwa:

1. PAF A berada pada kondisi normal (Zona A ISO 10816-3) dengan nilai getaran rendah dan stabil pada seluruh arah pengukuran.
2. PAF B berada pada kondisi *acceptable* (Zona B ISO 10816-3) dengan nilai getaran lebih tinggi pada arah horizontal yang mengindikasikan potensi awal ketidakseimbangan (*unbalance*).
3. Temperatur kedua unit PAF masih berada pada kondisi normal sehingga tidak terdapat indikasi *overheating* pada sistem bearing.
4. Analisis getaran menggunakan metode RMS terbukti efektif sebagai dasar implementasi *predictive maintenance* pada sistem boiler industri.

## Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang yang telah memberikan izin dan fasilitas selama pelaksanaan pengambilan data penelitian pada unit *Primary Air Fan* (PAF) di sistem Boiler CFB MB 26.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Bengkalis atas dukungan akademik dan bimbingan selama proses penelitian ini berlangsung.

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal dari pihak manapun dan dilaksanakan sebagai bagian dari tugas akademik dan pengembangan keilmuan pada bidang *condition monitoring* dan *predictive maintenance*.

Arah penelitian ini difokuskan pada pengembangan metode analisis getaran berbasis RMS untuk mendukung implementasi *predictive maintenance* pada sistem peralatan rotasi industri, khususnya pada sistem Boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB).

## Referensi

- [1] M. Romanssini, P. C. C. de Aguirre, L. Compassi-Severo, and A. G. Girardi, "A Review on Vibration Monitoring Techniques for Predictive Maintenance of Rotating Machinery," *Eng*, vol. 4, no. 3, pp. 1797–1817, 2023.
- [2] M. Tiboni, C. Remino, R. Bussola, and C. Amici, "A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotating Machinery," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, p. 972, 2022.
- [3] I. N. Darmawan, Kholistianingsih, A. Purwanto, and P. Yulianto, "Pengurangan Gangguan Akibat Kegagalan Pengukuran Vibrasi pada Primary Air Fan (PAF) di PLTU Jateng 2 Adipala Operation and Maintenance Services Unit," *J-Proteksion*, vol. 7, no. 2, pp. 35–46, 2023.
- [4] S. Kumar and S. Kumar, "Vibration Response-Based Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Rotary Machinery," *Materials Today: Proceedings*, vol. 50, pp. 679–683, 2022.
- [5] S. Aburakhia, T. Tayeh, R. Myers, and A. Shami, "Similarity-Based Predictive Maintenance Framework for Rotating Machinery," 2022.
- [6] S. Kiranyaz, O. C. Devecioglu, A. Alhams, S. Sassi, T. Ince, O. Avci, and M. Gabbouj, "Exploring Sound vs Vibration for Robust Fault Detection on Rotating Machinery," 2023.
- [7] ISO 10816-3, *Mechanical Vibration—Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts—Part 3: Industrial Machines with Nominal Power Above 15 kW*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2009.

- [8] A. Rai and S. Upadhyay, "A Review on Condition Monitoring and Predictive Maintenance of Rotating Machinery," *Measurement*, vol. 220, 2024. *Machinery*, 2023.
- [9] M. Cerrada, R. Sánchez, C. Li, and D. Cabrera, "Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis Using Vibration Analysis: A Review," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 188, 2023.
- [10] Y. Wang, H. Li, and X. Zhang, "Predictive Maintenance for Industrial Rotating Equipment Based on Vibration Monitoring," *Sensors*, vol. 24, no. 2, 2024.