

ANALISIS TINGKAT GETARAN PADA KOMPRESOR SPERRE X-RANGE AIR (BLA 901) DI PLN PLTMG 30 MW AMBON PEAKER BERDASARKAN ISO 20816-8

Rivaldy Yampapy¹⁾✉ Roy R. Lekatompessy²⁾, Graciadiana Irena Huka³⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Ambon
Ir. M. Putuhena, Wailela –
Rumahtiga, Kota Ambon,
Maluku, INDONESIA - 97234
ayampapy@gmail.com

²⁾ Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Ambon
Ir. M. Putuhena, Wailela –
Rumahtiga, Kota Ambon,
Maluku, INDONESIA - 97234
royrobert@gmail.com

³⁾ Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Ambon
Ir. M. Putuhena, Wailela –
Rumahtiga, Kota Ambon,
Maluku, INDONESIA - 97234
Gracehuka37@gmail.com

Abstract

This study analyzes the vibration level of the SPERRE X-Range Air Compressor Unit BLA 901 at the PLN PLTMG 30 MW Ambon Peaker using the overall vibration velocity RMS parameter. Measurements were conducted over a 10-day period, from June 23 to July 2, 2026, at five measurement points and in three directions: horizontal, vertical, and axial, resulting in a total of 150 measurement data points. The data were analyzed using descriptive statistics, linear regression, trend analysis, and projection up to the 15th day. The measurement results showed that the highest average vibration level occurred at the T3-NDE point in the vertical direction, with a value of 6.144 mm/s, while the highest maximum value was 6.430 mm/s. All measurement point and direction combinations exhibited an increasing tendency based on the linear regression slopes. The highest slope, 0.0517 mm/s/day, was obtained at T3-NDE in the horizontal direction, with a coefficient of determination (R^2) of 0.7846. The highest projected vibration level on the 15th day was 6.597 mm/s at T3-NDE in the vertical direction. Based on the evaluation guideline values for the frame (top) measurement location specified in ISO 20816-8:2018, seven measurement point and direction combinations were classified as Zone A and eight as Zone B, while none were classified as Zone C or Zone D. The results provide an initial quantitative baseline of the vibration level of Compressor BLA 901 and indicate that T3-NDE, particularly in the vertical direction, requires greater attention during subsequent vibration monitoring. The regression and projection results are used as indicators of short-term mathematical trends and are not intended to predict failure time or compressor service life.

Keywords: reciprocating compressor; overall vibration velocity RMS; vibration analysis; ISO 20816-8:2018; linear regression..

1. PENDAHULUAN

Kompresor reciprocating merupakan peralatan mekanis yang berperan dalam penyediaan udara bertekanan untuk mendukung operasi. Gerakan bolak-balik piston dan komponen mekanis lainnya menghasilkan gaya dinamis yang dapat diteruskan ke struktur mesin dan menimbulkan getaran. Tingkat getaran dapat digunakan sebagai salah satu informasi dalam condition monitoring untuk memantau perubahan kondisi mekanis, tetapi overall vibration tidak dengan sendirinya membuktikan jenis kerusakan tertentu.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa vibration monitoring dapat digunakan untuk mendukung evaluasi kondisi kompresor reciprocating. Elhaj et al. melakukan simulasi numerik dan pengujian eksperimental pada kompresor reciprocating dua tingkat untuk condition monitoring [1]. Kostyukov dan Naumenko membahas pengalaman operasi kompresor reciprocating dengan sistem vibration monitoring [2]. Haba et al. mengevaluasi respons getaran menggunakan modulation signal spectrum analysis [3], sedangkan Kolodziej dan Trout menerapkan pengenalan pola untuk condition monitoring katup kompresor reciprocating [4].

Pada Kompresor SPERRE X-Range Air (BLA 901) di PLN PLTMG 30 MW Ambon Peaker belum tersedia baseline dan histori pengukuran getaran yang terdokumentasi sebagai acuan jangka panjang. Penelitian ini

mengisi kebutuhan tersebut melalui pengukuran overall vibration velocity RMS pada lima titik dan tiga arah selama 10 hari. Data kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif, regresi linear, analisis tren, dan proyeksi, lalu dievaluasi terhadap nilai panduan ISO 20816-8:2018.

Keterbaruan penelitian terletak pada penyusunan baseline kuantitatif awal pada BLA 901 dan penggabungan hasil pengukuran langsung dengan kecenderungan perubahan serta klasifikasi zona getaran. Analisis regresi dan proyeksi digunakan untuk menggambarkan kecenderungan matematis selama periode pengamatan dan tidak dimaksudkan untuk menentukan jenis kerusakan, umur aktual, atau waktu kegagalan kompresor.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan nilai overall vibration velocity RMS pada setiap titik dan arah; (2) menganalisis karakteristik getaran menggunakan statistik deskriptif; (3) menentukan kecenderungan perubahan menggunakan regresi linear dan analisis tren; (4) melakukan proyeksi tingkat getaran hingga hari ke-15; dan (5) mengevaluasi kondisi getaran menggunakan ISO 20816-8:2018.

2. METODE

Penelitian dilakukan pada Kompresor SPERRE X-Range Air Compressor Unit BLA 901 di PLN PLTMG 30 MW Ambon Peaker. Pengukuran dilakukan saat kompresor beroperasi selama 10 hari, yaitu 23 Juni–2 Juli 2026, pada rentang waktu sekitar 10.00–15.00 WIT. Instrumen utama yang digunakan adalah Fluke 805 Vibration Meter untuk memperoleh overall vibration velocity RMS dalam satuan mm/s. Data primer berupa nilai getaran pada setiap titik dan arah. Spesifikasi kompresor, dokumentasi pengukuran, dan ISO 20816-8:2018 digunakan sebagai data pendukung.



Gambar 1. Skema titik dan arah pengukuran getaran Kompresor SPERRE X-Range Air (BLA 901).
Sumber: Dokumentasi penelitian (2026).

Tabel 1. Titik dan Arah Pengukuran

No.	Titik	Posisi pada Kompresor	Sisi	Arah
1	T1-NDE	Kiri atas	NDE	H, V, Ax
2	T1-DE	Kanan atas	DE	H, V, Ax
3	T2	Bagian tengah	-	H, V, Ax
4	T3-NDE	Kiri bawah	NDE	H, V, Ax
5	T3-DE	Kanan bawah	DE	H, V, Ax

Sumber: Diolah oleh peneliti (2026).

Lima titik dengan tiga arah menghasilkan 15 kombinasi titik-arrah. Dengan 10 hari pengamatan, jumlah data adalah $N = 5 \times 3 \times 10 = 150$.

2.2 Pengolahan dan Analisis Data

Data dikelompokkan berdasarkan titik, arah, dan hari pengamatan. Statistik deskriptif meliputi mean, minimum, maksimum, dan standar deviasi sampel. Regresi linear digunakan untuk memodelkan kecenderungan tingkat getaran terhadap waktu dengan bentuk $\hat{Y} = a + bX$, dengan X sebagai hari pengamatan dan b sebagai slope. Koefisien determinasi R^2 digunakan untuk menunjukkan proporsi variasi data yang dijelaskan oleh model linear. Proyeksi dilakukan pada $X = 15$ untuk menggambarkan kecenderungan jangka pendek di luar periode pengamatan.

Rumus standar deviasi sampel yang digunakan adalah:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Sumber persamaan: NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods dan NIST IR 6969.

Keterangan:

s =standar deviasi sampel

x_i =nilai pengukuran ke- i

$\bar{x}$ =nilai rata-rata

n =jumlah data

Dengan nilai rata-rata:

$$\bar{X} = \frac{4,23 + 4,34 + 4,18 + 4,42 + 4,31 + 4,58 + 4,45 + 4,67 + 4,53 + 4,69}{10}$$

$$\bar{X} = \frac{44,40}{10} = 4,44 \text{ mm/s}$$

Selanjutnya, setiap data dikurangi dengan nilai rata-rata kemudian dikuadratkan:

$$(4,23 - 4,44)^2 = 0,0441$$

$$(4,34 - 4,44)^2 = 0,0100$$

$$(4,18 - 4,44)^2 = 0,0676$$

$$(4,42 - 4,44)^2 = 0,0004$$

$$(4,31 - 4,44)^2 = 0,0169$$

$$(4,58 - 4,44)^2 = 0,0196$$

$$(4,45 - 4,44)^2 = 0,0001$$

$$(4,67 - 4,44)^2 = 0,0529$$

$$(4,53 - 4,44)^2 = 0,0081$$

$$(4,69 - 4,44)^2 = 0,0625$$

Kemudian seluruh hasil kuadrat selisih dijumlahkan:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,0441 + 0,0100 + 0,0676 + 0,0004 + 0,0169 + 0,0196 + 0,0001 + 0,0529 + 0,0081 + 0,0625$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,2822$$

Karena jumlah data $n=10$, maka:

$$s = \sqrt{\frac{0,2822}{10 - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0,2822}{9}}$$

$$s = \sqrt{0,0313556}$$

$$s = 0,1771 \text{ mm/s}$$

Sehingga, setelah dibulatkan menjadi tiga angka di belakang koma:

$$s = 0,177 \text{ mm/s}$$

Jadi standar deviasi T1-NDE arah horizontal adalah 0,177 mm/s

Regresi linear dihitung dengan:

$$\hat{Y} = a + bX$$

Seluruh perhitungan menggunakan nilai data dengan presisi penuh. Angka yang ditampilkan dalam tabel dibulatkan untuk keterbacaan.

2.3 Evaluasi Berdasarkan ISO 20816-8:2018

ISO 20816-8:2018 menetapkan prosedur dan pedoman pengukuran serta klasifikasi getaran mekanis pada sistem kompresor reciprocating. Untuk overall vibration velocity pada frame (top), nilai panduan batas zona adalah $A/B = 5,3 \text{ mm/s}$, $B/C = 8,0 \text{ mm/s}$, dan $C/D = 12,0 \text{ mm/s}$. ISO menjelaskan bahwa nilai tersebut merupakan nilai panduan untuk evaluasi dan bukan secara otomatis kriteria penerimaan akhir untuk setiap mesin. Zona A dan B pada umumnya dianggap dapat diterima untuk operasi jangka panjang, sedangkan Zona C memerlukan evaluasi dan kemungkinan tindakan korektif; Zona D menunjukkan tingkat getaran yang tidak dapat diterima. [5].

Tabel 2. Batas evaluasi tingkat getaran yang digunakan dalam penelitian

Zona	Velocity RMS	Interpretasi
Zona A	$\leq 5,3 \text{ mm/s}$	Normal / acceptable
Zona B	$> 5,3 - \leq 8,0 \text{ mm/s}$	Acceptable untuk operasi jangka panjang
Zona C	$> 8,0 - \leq 12,0 \text{ mm/s}$	Marginal; perlu analisis dan kemungkinan koreksi
Zona D	$> 12,0 \text{ mm/s}$	Unacceptable; koreksi segera atau pertimbangkan shutdown

Sumber: ISO 20816-8:2018, Table 3, Section 5.3.1, diolah.

Klasifikasi dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan kondisi getaran pada lokasi frame (top) berdasarkan overall vibration velocity RMS. Klasifikasi tidak digunakan untuk menyatakan bahwa seluruh komponen internal kompresor bebas dari kerusakan; ISO 20816-8:2018 sendiri menyatakan bahwa masalah pada komponen internal tertentu dapat memerlukan teknik diagnosis tambahan. [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Statistik Deskriptif

Tabel 3. Statistik deskriptif tingkat getaran

Titik	Arah	Mean (mm/s)	Minimum (mm/s)	Maksimum (mm/s)	SD (mm/s)
T1-NDE	H	4.440	4.180	4.690	0.177
T1-NDE	V	4.628	4.340	4.890	0.171
T1-NDE	Ax	4.249	4.020	4.460	0.148
T1-DE	H	4.844	4.570	5.080	0.163
T1-DE	V	5.005	4.760	5.270	0.175
T1-DE	Ax	4.556	4.280	4.790	0.167
T2	H	5.245	4.960	5.480	0.176
T2	V	5.435	5.140	5.670	0.165
T2	Ax	5.043	4.780	5.280	0.164
T3-NDE	H	5.947	5.680	6.240	0.177
T3-NDE	V	6.144	5.860	6.430	0.174
T3-NDE	Ax	5.643	5.340	5.920	0.183
T3-DE	H	5.347	5.070	5.580	0.165
T3-DE	V	5.527	5.230	5.780	0.177
T3-DE	Ax	5.136	4.830	5.360	0.168

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian (2026).

Rata-rata terendah terdapat pada T1-NDE arah aksial sebesar 4,249 mm/s, sedangkan rata-rata tertinggi terdapat pada T3-NDE arah vertikal sebesar 6,144 mm/s. Nilai maksimum tertinggi juga terdapat pada T3-NDE arah vertikal, yaitu 6,430 mm/s. Standar deviasi seluruh kombinasi berada pada rentang 0,148–0,183 mm/s. Nilai tersebut menunjukkan penyebaran data relatif kecil dalam periode pengamatan dan tidak digunakan sebagai bukti validitas alat ukur.

3.2 Regresi Linear, Tren, dan Proyeksi

Tabel 4. Hasil regresi linear dan proyeksi hari ke-15 pada seluruh titik dan arah

Titik	Arah	Persamaan Regresi	R ²	Proyeksi Hari ke-15 (mm/s)
T1-NDE	H	$\hat{Y} = 4.1640 + 0.0502X$	0.7362	4.917
T1-NDE	V	$\hat{Y} = 4.3773 + 0.0456X$	0.6527	5.061
T1-NDE	Ax	$\hat{Y} = 4.0213 + 0.0414X$	0.7216	4.642
T1-DE	H	$\hat{Y} = 4.5987 + 0.0446X$	0.6873	5.268
T1-DE	V	$\hat{Y} = 4.7467 + 0.0470X$	0.6603	5.451
T1-DE	Ax	$\hat{Y} = 4.2967 + 0.0472X$	0.7318	5.004

T2	H	$\hat{Y} = 4.9727 + 0.0495X$	0.7296	5.715
T2	V	$\hat{Y} = 5.1887 + 0.0448X$	0.6764	5.860
T2	Ax	$\hat{Y} = 4.7873 + 0.0465X$	0.7342	5.485
T3-NDE	H	$\hat{Y} = 5.6627 + 0.0517X$	0.7846	6.438
T3-NDE	V	$\hat{Y} = 5.8820 + 0.0476X$	0.6877	6.597
T3-NDE	Ax	$\hat{Y} = 5.3713 + 0.0494X$	0.6678	6.112
T3-DE	H	$\hat{Y} = 5.1020 + 0.0445X$	0.6703	5.770
T3-DE	V	$\hat{Y} = 5.2513 + 0.0501X$	0.7339	6.003
T3-DE	Ax	$\hat{Y} = 4.8787 + 0.0468X$	0.7115	5.580

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian (2026).

Seluruh slope bernilai positif, sehingga seluruh kombinasi menunjukkan kecenderungan peningkatan selama 10 hari pengamatan. Slope terbesar adalah 0,0517 mm/s/hari pada T3-NDE arah horizontal dengan $R^2 = 0,7846$. Sementara itu, proyeksi tertinggi pada hari ke-15 adalah 6,597 mm/s pada T3-NDE arah vertikal.

Untuk T3-NDE arah vertikal, koefisien regresi dengan presisi penuh menghasilkan proyeksi sekitar 6,5965 mm/s pada hari ke-15, yang dibulatkan menjadi 6,597 mm/s. Persamaan yang ditampilkan dalam tabel menggunakan koefisien yang telah dibulatkan menjadi $\hat{Y} = 5,8820 + 0,0476X$. Oleh karena itu, perbedaan kecil antara substitusi koefisien tampilan dan angka proyeksi tabel merupakan akibat pembulatan koefisien, bukan perubahan data.

Regresi linear pada penelitian ini merupakan pendekatan tren jangka pendek. Karena data hanya mencakup 10 hari pengamatan, hasil proyeksi tidak digunakan sebagai prediksi pasti waktu kegagalan atau umur kompresor.

3.3 Evaluasi Berdasarkan ISO 20816-8:2018

Tabel 5. Evaluasi tingkat getaran berdasarkan ISO 20816-8:2018

Titik	Arah	Mean (mm/s)	Maksimum (mm/s)	Zona
T1-NDE	H	4.440	4.690	A
T1-NDE	V	4.628	4.890	A
T1-NDE	Ax	4.249	4.460	A
T1-DE	H	4.844	5.080	A
T1-DE	V	5.005	5.270	A
T1-DE	Ax	4.556	4.790	A
T2	H	5.245	5.480	B
T2	V	5.435	5.670	B
T2	Ax	5.043	5.280	A
T3-NDE	H	5.947	6.240	B
T3-NDE	V	6.144	6.430	B
T3-NDE	Ax	5.643	5.920	B
T3-DE	H	5.347	5.580	B
T3-DE	V	5.527	5.780	B

Evaluasi tingkat getaran dilakukan menggunakan ISO 20816-8:2018 sebagai acuan pengukuran dan klasifikasi getaran pada sistem kompresor reciprocating. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan adalah *overall vibration velocity RMS* pada lokasi pengukuran *frame (top)*. Nilai panduan batas zona yang digunakan adalah 5,3 mm/s untuk batas A/B, 8,0 mm/s untuk batas B/C, dan 12,0 mm/s untuk batas C/D.

Berdasarkan hasil pengukuran, tujuh kombinasi titik dan arah berada pada Zona A dengan nilai hingga 5,3 mm/s, sedangkan delapan kombinasi berada pada Zona B dengan nilai lebih besar dari 5,3 mm/s hingga 8,0 mm/s. Tidak terdapat hasil pengukuran yang berada pada Zona C maupun Zona D. Nilai tertinggi selama periode pengamatan sebesar 6,430 mm/s pada T3-NDE arah vertikal masih berada di bawah batas B/C sebesar 8,0 mm/s.

Klasifikasi tersebut digunakan untuk menggambarkan tingkat getaran pada lokasi pengukuran dan tidak dimaksudkan sebagai diagnosis terhadap jenis kerusakan tertentu atau sebagai bukti bahwa seluruh komponen internal kompresor berada dalam kondisi bebas kerusakan. Interpretasi kondisi mesin secara lebih menyeluruh memerlukan informasi tambahan dan, apabila diperlukan, teknik diagnosis lainnya.

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan tingkat getaran antar titik dan arah pengukuran. T3-NDE arah vertikal memiliki rata-rata dan nilai maksimum tertinggi, masing-masing sebesar 6,144 mm/s dan 6,430 mm/s. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa respons getaran pada lokasi T3-NDE arah vertikal relatif lebih tinggi dibandingkan kombinasi titik dan arah lainnya selama periode pengamatan.

Selain tingkat getaran absolut, analisis regresi menunjukkan bahwa seluruh kombinasi titik dan arah memiliki slope positif. Slope terbesar sebesar 0,0517 mm/s/hari diperoleh pada T3-NDE arah horizontal dengan R^2 sebesar 0,7846. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan tingkat getaran selama periode pengamatan, meskipun besarnya slope tidak dapat secara langsung diinterpretasikan sebagai laju kerusakan komponen.

Proyeksi hingga hari ke-15 menunjukkan nilai tertinggi sebesar 6,597 mm/s pada T3-NDE arah vertikal. Nilai tersebut masih berada di bawah batas B/C sebesar 8,0 mm/s yang digunakan dalam evaluasi pada lokasi *frame (top)*. Proyeksi ini merupakan hasil ekstrapolasi matematis dari pola data pengamatan dan hanya digunakan untuk menggambarkan kecenderungan jangka pendek. Oleh karena itu, hasil tersebut tidak dapat digunakan sebagai prediksi pasti mengenai waktu terjadinya kerusakan atau kegagalan kompresor.

Secara umum, hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh pengukuran berada pada Zona A dan Zona B. T3-NDE, khususnya arah vertikal, dapat ditetapkan sebagai lokasi yang perlu mendapat perhatian lebih pada pemantauan getaran berikutnya karena memiliki tingkat getaran absolut tertinggi. Namun, penentuan penyebab spesifik getaran tidak dapat dilakukan hanya berdasarkan parameter *overall vibration velocity RMS*. Analisis lanjutan seperti pemeriksaan kondisi mekanis, analisis spektrum, atau teknik diagnosis lainnya dapat digunakan apabila diperlukan untuk mengidentifikasi sumber getaran secara lebih spesifik.

Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai baseline kuantitatif awal untuk membandingkan hasil pengukuran pada periode berikutnya. Perubahan tingkat getaran dari waktu ke waktu perlu dievaluasi secara berkala dengan mempertimbangkan kondisi operasi dan hasil pemeriksaan pemeliharaan yang relevan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis tingkat getaran Kompresor SPERRE X-Range Air Compressor Unit BLA 901 selama 10 hari, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengukuran menghasilkan 150 data *overall vibration velocity RMS* yang diperoleh dari lima titik pengukuran dan tiga arah, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial. Rata-rata tingkat getaran tertinggi sebesar 6,144 mm/s dan nilai maksimum tertinggi sebesar 6,430 mm/s terdapat pada T3-NDE arah vertikal.
2. Hasil analisis regresi linear menunjukkan bahwa seluruh 15 kombinasi titik dan arah memiliki kecenderungan peningkatan tingkat getaran. Slope terbesar sebesar 0,0517 mm/s/hari dengan R^2 sebesar 0,7846 terdapat pada T3-NDE arah horizontal.
3. Proyeksi matematis hingga hari ke-15 menghasilkan nilai tertinggi sebesar 6,597 mm/s pada T3-NDE arah vertikal. Nilai tersebut masih berada di bawah batas B/C sebesar 8,0 mm/s untuk kriteria evaluasi *frame (top)* yang digunakan dalam penelitian. Proyeksi tersebut merupakan indikator kecenderungan matematis jangka pendek dan bukan prediksi pasti waktu kegagalan atau umur kompresor.
4. Berdasarkan evaluasi menggunakan ISO 20816-8:2018, tujuh kombinasi titik dan arah berada pada Zona A dan delapan kombinasi berada pada Zona B. Tidak terdapat hasil pengukuran yang berada pada Zona C maupun Zona D selama periode pengamatan. T3-NDE, khususnya arah vertikal, menjadi lokasi yang perlu mendapat perhatian pada pemantauan getaran berikutnya karena menunjukkan tingkat getaran absolut tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Elhaj, F. Gu, A. D. Ball, A. Albarbar, M. Al-Qattan, and A. Naid, "Numerical simulation and experimental study of a two-stage reciprocating compressor for condition monitoring," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 22, no. 2, pp. 374–389, 2008, doi: 10.1016/j.ymssp.2007.08.003.
- [2] V. N. Kostyukov and A. P. Naumenko, "About the experience in operation of reciprocating compressors under control of the vibration monitoring system," *Procedia Engineering*, vol. 152, pp. 497–504, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.635.
- [3] U. Haba, K. Brethee, O. A. Hassin, F. Gu, and A. D. Ball, "An investigation into vibration response for condition monitoring of reciprocating compressor based on modulation signal spectrum analysis," *International Journal of COMADEM*, vol. 21, no. 3, pp. 31–37, 2018.
- [4] J. R. Kolodziej and J. N. Trout, "An image-based pattern recognition approach to condition monitoring of reciprocating compressor valves," *Journal of Vibration and Control*, vol. 24, no. 19, pp. 4433–4448, 2018, doi: 10.1177/1077546317726453.
- [5] International Organization for Standardization, ISO 20816-8:2018, *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 8: Reciprocating compressor systems*. Geneva, Switzerland: ISO, 2018.
- [6] Fluke Corporation, *Fluke 805 FC Vibration Meter User Manual*. Everett, WA, USA: Fluke Corporation, 2024.
- [7] SPERRE Industries AS, *SPERRE X-Range Air Compressor: Technical Documentation*. SPERRE Industries AS, 2024.
- [8] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 6th ed. Pearson, 2017.
- [9] National Institute of Standards and Technology and SEMATECH, *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*. Gaithersburg, MD, USA, 2012.