

Pengaruh Tingkat Vibrasi pada *Cooling Tower Fan* Motor terhadap Losses Daya dan Keandalan Bearing di PLTP xyz

Fikri Dzakiy Makarim¹, Ahmad Maksum^{1*}, Idrus Assagaf¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address: ahmad.maksum@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Cooling Tower merupakan komponen vital pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang berfungsi mendinginkan air kondensat dari Main Condenser sebelum disirkulasikan kembali. Pemantauan rutin pada Cooling Tower Fan Motor Echo dan Fanta di PT. XYZ menemukan anomali vibrasi yang berpotensi menurunkan keandalan dan efisiensi motor. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tingkat vibrasi terhadap keandalan bearing dan losses daya pada kedua motor fan tersebut. Data vibrasi diperoleh dari Central Control Room dan pengukuran langsung menggunakan VibExpert II Analyzer, kemudian diklasifikasikan berdasarkan ISO 10816-3. Gaya dinamis akibat vibrasi dihitung menggunakan Hukum Newton II, sedangkan estimasi umur bearing (L10h) dihitung dengan standar ISO 281. Hasil penelitian menunjukkan vibrasi aktual motor Echo dan Fanta sebesar 5,22 mm/s dan 4,80 mm/s, keduanya berada pada Zona D (Vibration Causes Damage). Vibrasi tersebut menurunkan umur bearing sebesar 44,60% pada motor Echo dan 42,27% pada motor Fanta dari umur desain 30 tahun, serta meningkatkan konsumsi daya hingga 4,5 kWh dan 5,1 kWh. Kerugian finansial yang ditimbulkan diestimasikan mencapai Rp9.123.840 per bulan atau sekitar Rp109.486.080 per tahun.

Kata-kata kunci: vibrasi, Cooling Tower fan motor, keandalan bearing, losses daya, panas bumi

Abstract

The Cooling Tower is a vital component of a Geothermal Power Plant (PLTP), functioning to cool condensate water from the Main Condenser before recirculation. Routine monitoring of Cooling Tower Fan Motors Echo and Fanta at PT. XYZ revealed vibration anomalies potentially reducing motor reliability and efficiency. This study analyzes the effect of vibration levels on bearing reliability and power losses in both fan motors. Vibration data were collected from the Central Control Room and measured directly using a VibExpert II Analyzer, then classified according to ISO 10816-3. Dynamic forces were calculated using Newton's Second Law, and bearing life estimation (L10h) was performed using ISO 281. Results show actual vibration of 5.22 mm/s and 4.80 mm/s for Echo and Fanta motors, respectively, both in Zone D (Vibration Causes Damage). Bearing life was reduced by 44.60% (Echo) and 42.27% (Fanta) from the 30-year design life, with power consumption rising by 4.5 kWh and 5.1 kWh. Financial losses are estimated at Rp9,123,840 per month (Rp109,486,080 per year).

Keywords: vibration, Cooling Tower fan motor, bearing reliability, power losses, geothermal

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi (*geothermal*) merupakan salah satu sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang strategis bagi Indonesia. Berbeda dengan pembangkit berbasis fosil, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) bersifat baseload karena mampu beroperasi terus-menerus 24 jam tanpa tergantung kondisi cuaca, serta menghasilkan emisi gas rumah kaca yang sangat rendah. Karakteristik tersebut menjadikan panas bumi sebagai salah satu kunci penting dalam mewujudkan ketahanan energi nasional dan mendukung transisi energi menuju masa depan yang lebih bersih.

PT XYZ merupakan salah satu unit operasi yang mengonversi energi panas bumi (uap dan fluida panas) menjadi tenaga listrik dengan kapasitas *Maximum Continuous Rating* (MCR) sebesar 55 MW (Mega Watt). Untuk menjaga keandalan operasi, seluruh peralatan utama maupun penunjang pada siklus pembangkitan, termasuk *Cooling Tower*, harus dipastikan bekerja pada kondisi optimal melalui kegiatan operasi dan maintenance yang baik.

Cooling Tower berfungsi mendinginkan air kondensat hasil kerja turbin di Main Condenser sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor, dengan prinsip pendinginan evaporatif. Proses ini sangat bergantung pada kinerja *Cooling Tower Fan Motor* yang menggerakkan kipas melalui sebuah gearbox reduksi untuk menghasilkan aliran udara paksa yang stabil. Apabila motor fan mengalami gangguan mekanis seperti unbalance pada fan blade atau misalignment pada kopling poros, maka akan timbul vibrasi berlebih yang berdampak pada penurunan keandalan bearing serta peningkatan konsumsi daya listrik motor.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji keterkaitan antara vibrasi dan kondisi peralatan rotasi. Permana dkk. melakukan analisis data vibrasi untuk mengklasifikasikan jenis kerusakan pada kompresor turbin gas di salah satu sektor pembangkitan PLN dan menunjukkan bahwa pola spektrum vibrasi dapat digunakan untuk mendeteksi gejala kerusakan komponen rotating secara dini [1]. Pada sisi lain, Wachjoe dan Sianturi mengkaji dampak vibrasi mekanik terhadap konsumsi listrik motor induksi pompa air pendingin dan membuktikan bahwa peningkatan vibrasi berkorelasi positif dengan kenaikan konsumsi daya listrik akibat naiknya beban gesekan dan arus magnetisasi motor [2]. Kim dkk. juga menunjukkan bahwa pendekatan ISO 281 dapat digunakan untuk mengestimasi sisa umur pakai bearing motor listrik secara kuantitatif berdasarkan beban aktual yang diterimanya [3].

Selama pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan, ditemukan anomali tingkat vibrasi pada *Cooling Tower Fan Motor Echo* dan *Fanta* yang melebihi batas aman berdasarkan standar ISO 10816-3[4]. Kondisi ini berpotensi mempercepat kerusakan bearing dan menimbulkan losses daya yang berdampak pada biaya operasional perusahaan. Oleh karena itu, diperlukan analisis kuantitatif untuk mengetahui besarnya pengaruh vibrasi tersebut terhadap keandalan bearing dan *losses* daya, sebagai dasar pengambilan keputusan tindakan perawatan korektif.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengklasifikasikan tingkat vibrasi *Cooling Tower Fan Motor Echo* dan *Fanta* berdasarkan ISO 10816-3; (2) menghitung gaya dinamis tambahan dan penurunan keandalan bearing (L10h) akibat vibrasi menggunakan ISO 281[5]; (3) menghitung besarnya losses daya serta dampak finansialnya bagi perusahaan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini adalah dua unit *Cooling Tower Fan Motor*, yaitu pada *Cell Echo* dan *Cell Fanta*, pada PLTP PT XYZ. Motor fan digerakkan oleh motor induksi 3 fasa berkapasitas 160 kW dengan putaran 1483 RPM yang direduksi melalui gearbox hingga 103,6 RPM pada sumbu kipas. Penelitian dilaksanakan selama periode Praktik Kerja Lapangan di bagian *Operation and Maintenance*, khususnya pada fungsi *Local Operator* dan *Maintenance Rotating*.

2.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer berupa hasil pengukuran langsung vibrasi di lapangan menggunakan VibExpert II Analyzer serta hasil wawancara dengan operator dan mekanik rotating terkait riwayat (*history record*) gangguan pada motor fan. Data sekunder berupa data historis route spectrum yang termonitor secara daring melalui sistem *Central Control Room* (CCR), data spesifikasi teknis motor dan bearing dari name plate dan dokumen pabrikan,

serta data parameter operasi (konsumsi daya digital parameter) sebelum dan setelah terjadi anomali vibrasi.

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui tahapan sistematis sebagai berikut.

1. Identifikasi masalah, yaitu menemukan indikasi anomali vibrasi pada *Cooling Tower Fan Motor Echo* dan *Fanta* berdasarkan pemantauan rutin CCR.
2. Pengumpulan data vibrasi aktual menggunakan VibExpert II Analyzer pada titik ukur radial bearing motor, serta pengumpulan data spesifikasi teknis motor dan bearing.
3. Klasifikasi tingkat keparahan vibrasi berdasarkan standar ISO 10816-3 untuk menentukan zona operasi (aman, layak jangka pendek, atau berbahaya).
4. Perhitungan gaya dinamis tambahan akibat vibrasi menggunakan pendekatan Hukum Newton II, serta perhitungan estimasi penurunan umur bearing (L10h) menggunakan rumus dasar ISO 281.
5. Perhitungan losses daya dan estimasi kerugian finansial berdasarkan selisih konsumsi daya aktual terhadap kondisi normal.

2.4 Klasifikasi Tingkat Vibrasi

Klasifikasi tingkat keparahan vibrasi mengacu pada standar ISO 10816-3 untuk mesin berukuran sedang (Group 2) dengan pondasi rigid, yang membagi tingkat vibrasi menjadi 4 zona, yaitu Zona A (0,71–1,41 mm/s, kondisi mesin baru), Zona B (2,3–2,8 mm/s, layak operasi jangka panjang tanpa batas), Zona C (2,8–3,5 mm/s, layak operasi jangka pendek/short operation allowable), dan Zona D (3,6–11 mm/s, vibrasi menyebabkan kerusakan/vibration causes damage). Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar penentuan tingkat urgensi tindakan perawatan.

2.5 Perhitungan Gaya Dinamis dan Keandalan Bearing

Gaya dinamis tambahan (F_{vib}) akibat vibrasi dihitung dengan pendekatan Hukum Newton II. Karena data yang tersedia berupa kecepatan vibrasi (V_{rms}), maka data tersebut dikonversi menjadi percepatan (α) menggunakan kecepatan sudut (ω) sebagai berikut.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \quad (1)$$

$$\alpha = V_{rms} \cdot \omega \quad (2)$$

$$F_{vib} = M \cdot \alpha \quad (3)$$

dengan n adalah putaran motor (RPM) dan M adalah massa motor (kg). Beban total bearing (P_{total}) merupakan penjumlahan beban normal desain (P) dan gaya dinamis tambahan akibat vibrasi (F_{vib}).

$$P_{total} = P + F_{vib} \quad (4)$$

Estimasi umur pakai bearing (L10h) dihitung menggunakan rumus dasar ISO 281 (ISO-281-2007, 2022; Kim et al., 2017) sebagai berikut.

$$L10h = (10^6 / (60 \cdot n)) \cdot (C / P_{total})^3 \quad (5)$$

dengan C adalah beban dinamis dasar bearing (N) yang tercantum pada spesifikasi bearing. Nilai beban normal desain (P) diperoleh dengan menyelesaikan persamaan (5) menggunakan umur desain target (30 tahun atau 262.800 jam) pada kondisi vibrasi normal, menghasilkan nilai P sebesar 6.051 N. Nilai ini selanjutnya digunakan sebagai baseline pembanding terhadap beban aktual (P_{total}) pada kondisi over-vibrasi.

2.6 Perhitungan Losses Daya dan Kerugian Finansial

Losses daya dihitung berdasarkan selisih konsumsi daya aktual (kondisi over-vibrasi) terhadap kondisi normal yang tercatat pada digital parameter motor. Energi yang hilang (E_{loss}) dan estimasi kerugian finansial (*Biaya*) dihitung dengan asumsi operasi kontinu 24 jam selama 30 hari (720 jam) menggunakan persamaan berikut (Wachjoe & Sianturi, 2020).

$$E_{loss} = P_{loss} \times t \quad (6)$$

$$Biaya = E_{loss} \times \text{Tarif} \quad (7)$$

dengan Ploss adalah selisih daya (kWh), t adalah durasi operasi (jam), dan Tarif adalah harga listrik per kWh yang berlaku. Keterangan lengkap notasi yang digunakan pada persamaan (1)–(7) disajikan pada tabel 1.

Simbol	Keterangan
n	Putaran motor (RPM)
M	Massa motor (kg)
V_{rms}	Kecepatan vibrasi root mean square (m/s)
ω	Kecepatan sudut (rad/s)
α	Percepatan getaran (m/s^2)
F_{vib}	Gaya dinamis tambahan akibat vibrasi (N)
P	Beban normal desain bearing (N)
P_{total}	Beban total aktual pada bearing (N)
C	Beban dinamis dasar bearing (N)
L_{10h}	Estimasi umur pakai bearing (jam)
P_{loss}	Selisih daya akibat vibrasi (kWh)
E_{loss}	Energi yang hilang (kWh)
t	Durasi operasi (jam)
Tarif	Harga listrik per kWh (Rp/kWh)

Tabel 1. Daftar Notasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data dan Klasifikasi Tingkat Vibrasi

Hasil pemantauan CCR menunjukkan vibrasi rata-rata pada *Cell Echo* sebesar 3,90 mm/s dan *Cell Fanta* sebesar 4,16 mm/s. Pengukuran langsung menggunakan VibExpert II Analyzer oleh Tim Maintenance menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 5,22 mm/s pada motor *Echo* dan 4,80 mm/s pada motor *Fanta*. Perbedaan ini wajar terjadi karena sensor CCR bersifat permanen pada titik tertentu dan terpengaruh redaman struktur, sedangkan pengukuran VibExpert II dilakukan langsung pada titik kritis bearing sehingga lebih representatif terhadap kondisi aktual komponen.

Berdasarkan klasifikasi ISO 10816-3 untuk motor 160 kW Group 2 dengan pondasi rigid, kedua nilai tersebut berada di atas ambang 3,5 mm/s sehingga dikategorikan dalam Zona D (*Vibration Causes Damage*). Kondisi ini berarti tidak layak untuk operasi karena dapat menimbulkan kerusakan permanen apabila tidak ditindaklanjuti.

3.2 Analisis Gaya Dinamis dan Keandalan Bearing

Berdasarkan persamaan (1)–(3), kecepatan sudut motor pada putaran 1483 RPM adalah 155,2 rad/s. Vibrasi pada motor *Echo* (4,8 mm/s) menghasilkan percepatan getaran sebesar 0,810 m/s^2 dan gaya dinamis tambahan (F_{vib}) sebesar 1.214 N, sedangkan pada motor *Fanta* (5,22 mm/s) menghasilkan percepatan getaran 0,745 m/s^2 dan F_{vib} sebesar 1.320 N. Penambahan gaya ini meningkatkan beban total bearing (P_{total}) motor *Echo* menjadi 7.265 N dan motor *Fanta* menjadi 7.371 N, dibandingkan beban normal desain sebesar 6.051 N, atau mengalami kenaikan beban masing-masing sebesar 21,8% dan 20,1%.

Hasil perhitungan estimasi umur bearing (L_{10h}) menggunakan persamaan (5) ditunjukkan pada tabel 2.

Parameter	CT Fan Motor <i>Echo</i>	CT Fan Motor <i>Fanta</i>
Vibrasi rata-rata CCR (mm/s)	3,90	4,16
Vibrasi aktual VibExpert II (mm/s)	4,80	5,22
Klasifikasi ISO 10816-3	Zona D	Zona D
Kecepatan sudut, ω (rad/s)	155,2	155,2
Percepatan getaran, α (m/s ²)	0,745	0,810
Gaya dinamis tambahan, F_{vib} (N)	1.214	1.320
Beban total bearing, P_{total} (N)	7.265	7.371
Umur bearing aktual, L_{10h} (tahun)	17,32	16,58
Penurunan umur bearing (%)	42,27	44,60
Kenaikan konsumsi daya (kWh)	5,1	4,5

Tabel 2. Data Vibrasi dan Estimasi Keandalan Bearing CT Fan Motor *Echo* dan *Fanta*

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada kondisi vibrasi aktual, umur pakai bearing motor *Echo* berkurang menjadi 17,32 tahun dan motor *Fanta* menjadi 16,58 tahun, dari umur desain normal 30 tahun. Hal ini berarti terjadi penurunan umur bearing sebesar 42,27% pada motor *Echo* dan 44,60% pada motor *Fanta*. Karena hubungan antara beban dan umur bearing bersifat pangkat tiga (kubik) sesuai persamaan (5), kenaikan beban yang relatif kecil (sekitar 20%) dapat berdampak pada penurunan umur pakai yang jauh lebih besar (lebih dari 40%), sehingga aspek vibrasi tidak boleh dianggap sebagai gangguan minor.

Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Kim dkk., yang menunjukkan bahwa estimasi umur bearing berdasarkan ISO 281 sangat sensitif terhadap perubahan beban dinamis aktual dibandingkan beban desain (Kim et al., 2017). Selain itu, hasil ini juga sejalan dengan temuan Permana dkk. bahwa pola vibrasi abnormal pada komponen rotating dapat menjadi indikator dini terhadap potensi kegagalan komponen sebelum kerusakan fatal terjadi (Hery E. Permana et al., 2019).

3.3 Analisis Losses Daya dan Dampak Finansial

Selain berdampak pada keandalan bearing, vibrasi berlebih juga menyebabkan kenaikan konsumsi daya listrik. Hal ini terjadi karena gaya dinamis akibat unbalance meningkatkan beban gesekan (friction load) pada bearing dan menimbulkan gangguan celah udara (air gap eccentricity) antara rotor dan stator, sehingga motor membutuhkan arus magnetisasi yang lebih besar untuk mempertahankan torsi putaran. Data digital parameter motor mencatat kenaikan konsumsi daya sebesar 4,5 kWh pada motor *Echo* dan 5,1 kWh pada motor *Fanta* dibandingkan kondisi vibrasi normal pada *Cell Delta* yang tercatat sebesar 114,5 kWh.

Dengan asumsi operasi kontinu selama 720 jam per bulan, hasil perhitungan losses energi dan kerugian finansial menggunakan persamaan (6) dan (7) ditunjukkan pada tabel 3.

Parameter	<i>Echo</i>	<i>Fanta</i>
Losses energi (kWh/bulan)	3.240	3.672
Total losses energi (kWh/bulan)	6.912	(gabungan)
Tarif listrik yang digunakan (Rp/kWh)	1.320	(acuan ESDM)
Kerugian finansial (Rp/bulan)	9.123.840	(gabungan)
Estimasi kerugian (Rp/tahun)	109.486.080	(gabungan)

Tabel 3. Estimasi Losses Daya dan Kerugian Finansial CT Fan Motor *Echo* dan *Fanta*

Berdasarkan tabel 3, total losses energi dari kedua motor fan mencapai 6.912 kWh per bulan. Dengan tarif listrik acuan sebesar Rp1.320 per kWh, kerugian finansial yang ditanggung perusahaan diestimasikan sebesar Rp9.123.840 per bulan, atau dapat mencapai Rp109.486.080 per tahun apabila kondisi over-vibrasi dibiarkan tanpa tindakan perbaikan. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Wachjoe dan Sianturi yang menunjukkan bahwa vibrasi mekanik pada motor induksi berkorelasi langsung dengan peningkatan konsumsi energi listrik (Wachjoe & Sianturi, 2020), sekaligus

menegaskan bahwa dampak vibrasi tidak hanya bersifat mekanis (penurunan umur bearing) tetapi juga bersifat finansial (kenaikan biaya operasional energi).

3.4 Rekomendasi dan Kelayakan Tindakan Korektif

Mengingat besarnya potensi kerugian, baik dari sisi penurunan umur bearing maupun losses daya, tindakan korektif berupa penggantian bearing, balancing fan blade, dan koreksi alignment pada CT Fan Motor *Echo* dan *Fanta* dinilai layak secara ekonomis (feasible). Estimasi kerugian operasional sebesar Rp109.486.080 per tahun apabila kondisi ini dibiarkan menunjukkan bahwa biaya perbaikan, yang pada umumnya jauh lebih kecil dibandingkan akumulasi losses tahunan tersebut, berpotensi tertutupi dalam waktu yang relatif singkat (kurang dari satu tahun) melalui penghematan energi dan pencegahan kerusakan lanjutan pada komponen lain seperti gearbox dan kopling.

Sebagai tindakan jangka panjang, disarankan peningkatan intensitas predictive maintenance melalui pemantauan vibrasi secara berkala (baik melalui CCR maupun pengukuran portabel), penerapan analisis spektrum FFT untuk mendeteksi frekuensi karakteristik kerusakan bearing secara lebih dini, serta penjadwalan preventive maintenance untuk penggantian komponen yang mendekati batas umur desainnya, sehingga kerusakan dapat dideteksi sebelum mencapai kondisi catastrophic failure.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data vibrasi, analisis keandalan bearing, perhitungan losses daya, pada *Cooling Tower Fan Motor Echo* dan *Fanta* di PT XYZ Area Lumut Balai Unit 1, dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Tingkat vibrasi aktual motor *Echo* dan *Fanta* yang terukur menggunakan VibExpert II Analyzer adalah 5,22 mm/s dan 4,80 mm/s, keduanya berada pada Zona C (short operation allowable) menurut ISO 10816-3 dan mendekati batas Zona D (danger).
- Vibrasi tersebut menimbulkan gaya dinamis tambahan sebesar 1.320 N (*Echo*) dan 1.214 N (*Fanta*) pada bearing, yang menyebabkan penurunan umur pakai bearing (L10h) sebesar 44,60% pada motor *Echo* dan 42,27% pada motor *Fanta* dari umur desain normal 30 tahun.
- Over-vibrasi juga menyebabkan inefisiensi energi berupa kenaikan konsumsi daya sebesar 4,5 kWh pada motor *Echo* dan 5,1 kWh pada motor *Fanta* dibandingkan kondisi normal.
- Akumulasi losses daya menimbulkan kerugian finansial yang diestimasi sebesar Rp9.123.840 per bulan, atau sekitar Rp109.486.080 per tahun jika kondisi ini tidak ditindaklanjuti.

4.2 Saran

- Disarankan untuk segera melakukan penggantian bearing dan koreksi alignment pada *Cooling Tower Fan Motor Echo* dan *Fanta*, disertai proses balancing pada fan blade, mengingat tindakan ini dinilai layak secara ekonomis karena biaya perbaikan diperkirakan tertutupi oleh penghematan energi dan pencegahan kerusakan lanjutan.
- Perusahaan disarankan meningkatkan intensitas predictive maintenance melalui pemantauan vibrasi secara berkala dan analisis spektrum, agar gejala kerusakan dapat terdeteksi sedini mungkin sebelum mencapai kondisi catastrophic failure.
- Untuk penelitian lanjutan, disarankan menambahkan analisis spektrum FFT secara rinci pada setiap frekuensi karakteristik bearing, serta melakukan studi perbandingan sebelum dan setelah tindakan korektif dilakukan untuk memvalidasi keberhasilan perbaikan secara kuantitatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PLTP PT. XYZ dan Tim Maintenance Rotating atas izin, fasilitas, serta bimbingan yang diberikan selama pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan, serta kepada Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta atas dukungan akademik dalam penyusunan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Hery E.Permana, Ikhwansyah Isranuri, M. Sabri, Mahadi, and Dian M. Nasution, “Analisa Data Vibrasi Untuk Klasifikasi Kerusakan Kompresor Turbin Gas Pada Pt. Pln Sektor Pembangkitan Belawan,” *Dinamis*, vol. 7, no. 4, p. 10, 2019, doi: 10.32734/dinamis.v7i4.7200.
- [2] C. Wachjoe and M. Sianturi, “DAMPAK VIBRASI MEKANIK TERHADAP KONSUMSI LISTRIK MOTOR INDUKSI POMPA AIR PENDINGIN,” *J. Tek. Energi*, vol. 3, pp. 204–209, Feb. 2020, doi: 10.35313/energi.v3i1.1768.
- [3] Y. H. Kim, H. J. Kim, J. W. Moon, and S. Y. Jung, “A study on the estimation of bearing life of electric motor using ISO 281 and accelerated life test,” *2017 2nd Int. Conf. Syst. Reliab. Safety, ICSRS 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 223–226, 2017, doi: 10.1109/ICSRS.2017.8272825.
- [4] ISO 10816-3:2000 (E), “International Standard International Standard,” *61010-1 © Iec2001*, vol. 2009, p. 13, 2009.
- [5] ISO-281-2007, “INTERNATIONAL STANDARD iTeh STANDARD PREVIEW iTeh STANDARD PREVIEW,” vol. 2022, p. 6, 2022.