

Calculation Of 2x250 kW Motor Life On Main Cooling Water Pump In The Second Unit PT.PLN PLTP Lahendong

Perhitungan Umur Motor 2x250 kW Pada Main Cooling Water Pump Di Unit 2 PT PLN PLTP Lahendong

Rudolf Riandy Raintama, Glanny Mangindaan, Maickel Tuegeh

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : 18021103052@student.unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id, maickel_tuegeh@unsrat.ac.id

Abstract — Main cooling water pump used in geothermal power plants has a function that is pumping condensate water from the condenser to the hot water basin cooling tower to be cooled, the motor as the main driver has two biggest causes of damage, namely the first bearing is characterized by excessive vibration or vibration and by using the ISO 10816-3 standard, a motor condition benchmark is obtained according to the vibration value and another factor is the insulation contained in the stator which is starting to be damaged characterized by rising temperatures caused by electrical aging, namely the magnitude of the load, the greater the load, the shorter the life of the winding insulation. The winding on the motor installed in the main cooling water pump in unit 2 PT PLN PLTP Lahendong is a winding with type F, namely with a maximum hot-spot temperature of 155 °C winding capability adjusted to the IEC 60085 (2007) standard and also with a minimum polarization index benchmark according to the IEEE 43-(2000) standard. The purpose of this study is to assess the condition of the motor to predict the remaining life of 2 250 kW motors installed the second unit of PT. PLN PLTP Lahendong.

Keywords – *Vibration, Polarization Index, insulation and motor lifespan.*

Abstrak — Main cooling water pump yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi memiliki fungsi yaitu memompakan air kondensat dari kondensor ke hot water basin cooling tower untuk kemudian didinginkan, motor sebagai penggerak utamanya memiliki dua penyebab kerusakan terbesar yaitu pertama bearing ditandai dengan vibrasi atau getaran yang berlebih dan dengan menggunakan standar ISO 10816-3 maka didapatkan patokan kondisi motor sesuai nilai vibrasinya dan faktor lain yaitu isolasi yang terdapat pada stator yang mulai rusak ditandai dengan temperature yang naik diakibatkan oleh penuaan elektrik yaitu besarnya beban, semakin besar beban maka semakin pendek umur dari isolasi belitan. Belitan pada motor yang terpasang di main cooling water pump di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong adalah belitan dengan tipe F yaitu dengan hot-spot temperature maksimal kemampuan belitan sebesar 155°C disesuaikan dengan standar IEC 60085 (2007) dan juga dengan patokan minimal indeks polarisasi menurut dengan standar IEEE 43-(2000). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menilai kondisi motor untuk predictiev memperkirakan sisa umur 2 motor 250 kW yang terpasang di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong.

Kata kunci – *Vibrasi, Indeks Polarisasi, isolasi dan sisa umur motor.*

I.PENDAHULUAN

Pada sistem operasi tenaga listrik, hal yang sangat penting dalam memberikan pelayanan terbaik berupa kenyamanan dan kepuasan terhadap konsumen adalah kehandalan dan kestabilan suatu sistem tenaga listrik tersebut. Upaya untuk mempertahankan kehandalan dan kestabilan suatu sistem tenaga listrik yaitu dengan selalu melakukan pengecekan dan memberikan perhatian yang penting untuk memantau kondisi dari komponen-komponen dari suatu sistem tenaga listrik yang telah ada. Ada suatu peralatan dalam sistem penyaluran tenaga listrik yang sangat penting fungsinya, alat atau komponen ini adalah main cooling water pump (MCWP). Alat ini merupakan sebuah pompa pendingin utama yang berfungsi untuk memompakan air kondensat dari kondensor ke hot water basin cooling tower untuk kemudian didinginkan dan merupakan suatu komponen penyusun penting pada suatu sistem tenaga listrik dalam hal ini khususnya pada pembangkit listrik tenaga panas bumi. Dan alat ini mempunyai batasan umur yang tidak diketahui tepatnya. Oleh karena itu diperlukan adanya usaha untuk menjaga MCWP agar tetap memiliki umur dalam jangka waktu yang cukup panjang serta tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan harapan.

Besarnya beban listrik yang digunakan secara terus menerus oleh MCWP dan juga bervariasi sehingga dapat mempengaruhi kinerja dari MCWP tersebut. MCWP yang digunakan di PLTP Lahendong berfungsi untuk memompakan air kondensat dari kondensor ke hot water basin cooling tower untuk kemudian didinginkan. Faktor penurunan umur MCWP adalah dipengaruhi oleh besarnya beban dan temperatur lingkungan dimana semakin besar bebannya maka semakin tinggi pula temperatur dan panas yang timbul pada belitan, hal ini dapat merusak isolasi motor.

Beberapa peralatan utama dalam pengoperasian sistem tenaga listrik pada pembangkit seperti generator, turbin, kondenser dan peralatan lainnya yang memiliki peranan penting dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga panas bumi. Demi kenyamanan pelanggan dan keamanan maka diperlukan peralatan dengan kualitas dan keandalan yang baik pada saat pengoperasian

A. Motor Induksi

Motor induksi adalah motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip arus induksi. Motor ini menggunakan medan magnet yang berputar pada belitan stator untuk menghasilkan torsi pada rotor. Prinsip kerja motor induksi didasarkan pada gandingan medan listrik antara stator dan rotor. Motor induksi tidak menggunakan kumparan medan, melainkan menghasilkan fluks magnetik dari daya listrik masukan pada stator.

B. Pengukuran Nilai Getaran

Tujuan pengukuran ini untuk mengetahui keadaan bearing pada motor dimana hasil perhitungan nilai vibrasi yang telah dilakukan dengan mengumpulkan sejumlah data vibrasi (displacement) yang berbeda nilainya lalu dihitung menggunakan persamaan root mean square untuk diambil nilai efektifnya lalu hasilnya dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 dimana standar ini memberitahukan kondisi dari suatu mesin dengan hanya dari nilai getarannya.

Dan berikut ini merupakan persamaan dalam menentukan nilai efektif dari sekumpulan nilai vibrasi.

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

Dimana:

x_{rms} : Nilai root mean square (μm)

x : Data vibrasi displacement motor (μm)

n : Jumlah data

C. Metode Indeks Polarisasi

Untuk mengetahui kekuatan isolasi belitan dari motor maka dilakukan pengujian indeks polarisasi. Pengujian indeks polarisasi memberikan indikasi tentang sejauh mana isolasi tersebut dapat mempertahankan resistansinya terhadap arus bocor dimana pada penelitian ini arus bocor yang dimaksud adalah lompatan arus listrik akibat lemahnya dinding isolasi belitan dalam mempertahankan kekuatannya terhadap antar belitan atau dengan ground dimana dapat mengurangi efisiensi dan dapat menyebabkan naiknya temperature motor.

Pengujian indeks polarisasi dilakukan dengan cara perbandingan antara nilai tahanan isolasi pada 10 menit pengukuran dengan tahanan isolasi pada 1 menit pengukuran. Dimana nilai minimum indeks polarisasi untuk belitan diatur pada standar IEC 60085-01.

Berikut persamaan indeks polarisasi:

$$PI = \frac{R_{10}}{R_1}$$

Dimana:

PI =Indeks Polarisasi

R_{10} =Tahanan Isolasi Pada 10 Menit Pengukuran ($M\Omega$)

R_1 =Tahanan Isolasi pada 1 Menit Pengukuran ($M\Omega$)

Tabel I. Rekomendasi Nilai Minimum Indeks Polarisasi Dan Temperature Hotspot Per Kelas Isolasi Menurut IEC 60085-01

Class	Minimum PI	Temperature Hotspot ($^{\circ}\text{C}$)	Temperature Rise ($^{\circ}\text{C}$)
A	1.5	105	65
B	2.0	130	90
F	2.0	155	115
H	2.0	180	140

D. Sisa Umur Motor Berdasarkan Pembebanan

Kerusakan pada motor dapat dipengaruhi banyak hal seperti pada penelitian ini adalah pembebanan dimana pengertian dari pembebanan ialah seberapa besar arus sebuah motor pada saat beroperasi dibandingkan dengan total kemampuan dari motor tersebut. Sisa umur dari motor pada main cooling water pump di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong dapat diketahui dengan metode berdasarkan pembebanan karena umur dasar motor jika pada pembebanan penuh adalah 20.000 jam.[3]

Dibawah ini merupakan persamaan perhitungan umur motor berdasarkan pembebanan:

$$L_x = L_{100} \times 2^{\frac{T_c - T_x}{HIC}}$$

Dimana:

L_x =Sisa umur motor pada pembebanan x .

L_{100} =Umur motor pada pembebanan 100%

T_c =Maksimal temperature per kelas isolasi ($^{\circ}\text{C}$)

T_x =Maksimal temperature untuk isolasi ($^{\circ}\text{C}$)

HIC =Halving Interval per kelas isolasi ($^{\circ}\text{C}$)

E. Sisa Umur Motor Berdasarkan DOE/TIC-11339

Dalam Langkah untuk mengetahui sisa umur dari motor pada main cooling water pump di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendog maka untuk sederhananya dengan menghitung umur rata-rata motor berdasarkan besarnya daya output motor.

Tabel II. Rata-rata Umur Motor Berdasarkan DOE/TIC-11339

HP RANGE	AVERAGE MOTOR LIFE (YEARS)	LIFE RANGE (YEARS)
<1	12	10-15
1-5	17,1	13-19
5,1-20	19,4	16-20
21-50	21,8	18-26
51-125	28,5	24-33
>125	29,3	25-38

$SisaUmur = AML - (TahunSekarang - TahunAwalOperasi)$

Dimana:

AML = Rata-Rata Umur Motor (Tahun)

II. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Data Vibrasi Motor MCWP

Berikut merupakan data vibrasi (displacement) motor pada main cooling water pump di unit 2 PT. PLN PLTP Lahendong.

Tabel III. Data Vibrasi Motor MCWP A dan MCWP B

Data Vibrasi Motor MCWP (µm)									
Jam	A		B		Jam	A		B	
	X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
00.30	1.1	6.1	0.7	4.4	12.30	1.2	5.6	0.4	5.5
01.00	1.2	6.1	0.7	4.3	13.00	1.2	5.6	0.3	5.3
01.30	1.2	6.1	0.7	4	13.30	0.7	5.7	0.7	4.9
02.00	0.7	5.2	0.7	5	14.00	0.7	5.7	0.7	4.9
02.30	0.7	5.3	0.6	5.6	14.30	0.7	5.5	0.7	3.8
03.00	0.5	5.1	0.5	5.6	15.00	0.7	5.5	0.7	3.8
03.30	0.8	5.5	0.7	4.9	15.30	0.7	5.4	0.2	3.8
04.00	0.7	5.5	0.7	4.9	16.00	0.7	5.1	0.2	3.7
04.30	0.7	5.5	0.5	4.9	16.30	0.7	5.8	0.7	5.3
05.00	0.7	5.2	0.5	4.9	17.00	0.7	5.9	0.7	5.3
05.30	0.9	5.2	0.7	5.5	17.30	0.6	5.8	0.2	5.3
06.00	0.7	5.3	0.6	4.5	18.00	0.7	6	0.2	5.3
06.30	0.8	5.3	0.2	7	18.30	1.1	6.3	0.2	3.8
07.00	1.2	5.7	0.2	6.5	19.00	0.7	5.4	0.2	5.5
07.30	1.2	5.5	0.7	4.5	19.30	0.9	5.5	0.2	4.6
08.00	1.2	5.5	0.7	3.3	20.00	1.1	5.6	0.2	4.6
08.30	1.2	5.5	0.7	3.2	20.30	1	5.4	0.2	4.4
09.00	1.2	6.1	0.5	4.5	21.00	0.9	5.1	0.2	4.5
09.30	0.9	6	0.5	3.5	21.30	0.8	5.1	0.7	5.1
10.00	0.7	6.1	0.7	4.5	22.00	0.7	5.4	0.7	5.4
10.30	0.8	5	0.7	4.5	22.30	1.1	5.2	0.7	5.2
11.00	0.8	5.2	0.7	4.5	23.00	1.2	5.1	0.7	5.1
11.30	0.8	5.9	0.5	4.4	23.30	0.7	5	0.7	5
12.00	0.9	5.9	0.5	5.3	00.00	0.7	5.2	0.7	5.2

B. Perhitungan Nilai RMS Vibrasi Motor MCWP

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai efektif dari sekumpulan data vibrasi motor pada sehari penuh dengan menggunakan persamaan RMS.

1) Perhitungan RMS MCWP A bearing X:

$$\sqrt{\frac{1.1^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.5^2 + 0.8^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.9^2 + 0.7^2 + 0.8^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 0.9^2 + 0.7^2 + 0.8^2 + 0.8^2 + 0.8^2 + 0.9^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.6^2 + 0.7^2 + 1.1^2 + 0.7^2 + 0.9^2 + 1.1^2 + 1^2 + 0.9^2 + 0.8^2 + 0.7^2 + 1.1^2 + 1.2^2 + 0.7^2 + 0.7^2}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP A(X)} = \sqrt{\frac{38.5}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP A(X)} = \sqrt{0.7927083}$$

$$\text{RMS MCWP A(X)} = 0,89034 \mu\text{m}$$

2) Perhitungan RMS MCWP A bearing Y:

$$\sqrt{\frac{5.6^2 + 5.6^2 + 5.7^2 + 5.7^2 + 5.5^2 + 5.5^2 + 5.4^2 + 5.1^2 + 5.8^2 + 5.9^2 + 5.8^2 + 6^2 + 6.3^2 + 5.4^2 + 5.5^2 + 5.6^2 + 5.4^2 + 5.1^2 + 5.1^2 + 5.4^2 + 5.2^2 + 5.1^2 + 5^2 + 5.2^2 + 6.1^2 + 6.1^2 + 6.1^2 + 5.2^2 + 5.3^2 + 5.1^2 + 5.5^2 + 5.5^2 + 5.5^2 + 5.2^2 + 5.2^2 + 5.3^2 + 5.3^2 + 5.7^2 + 5.5^2 + 5.5^2 + 5.5^2 + 6.1^2 + 6^2 + 6.1^2 + 5^2 + 5.2^2 + 5.9^2 + 5.9^2}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP A(Y)} = \sqrt{\frac{1,476.45}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP A(Y)} = \sqrt{30.759375}$$

$$\text{RMS MCWP A(Y)} = 5,546 \mu\text{m}$$

3) Perhitungan RMS MCWP B bearing X:

$$\sqrt{\frac{0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.6^2 + 0.5^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.7^2 + 0.6^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.4^2 + 0.3^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2 + 0.7^2}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP B(X)} = \sqrt{\frac{15.45}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP B(X)} = \sqrt{0.321875}$$

$$\text{RMS MCWP B(X)} = 0,56734 \mu\text{m}$$

4) Perhitungan RMS MCWP B bearing Y:

$$\sqrt{\frac{4.4^2 + 4.3^2 + 4^2 + 5^2 + 5.6^2 + 5.6^2 + 4.9^2 + 4.9^2 + 4.9^2 + 4.9^2 + 5.5^2 + 4.5^2 + 7^2 + 6.5^2 + 4.5^2 + 3.3^2 + 3.2^2 + 4.5^2 + 3.5^2 + 4.5^2 + 4.5^2 + 4.5^2 + 4.4^2 + 5.3^2 + 5.5^2 + 5.3^2 + 4.9^2 + 4.9^2 + 3.8^2 + 3.8^2 + 3.8^2 + 3.7^2 + 5.3^2 + 5.3^2 + 5.3^2 + 5.3^2 + 3.8^2 + 5.5^2 + 4.6^2 + 4.6^2 + 4.4^2 + 4.5^2 + 5.1^2 + 5.4^2 + 5.2^2 + 5.1^2 + 5^2 + 5.2}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP B(Y)} = \sqrt{\frac{1,124.05}{48}}$$

$$\text{RMS MCWP B(Y)} = \sqrt{23.4177}$$

$$\text{RMS MCWP B(Y)} = 4,839 \mu\text{m}$$

C. Data Indeks Polarisasi

Berikut ini merupakan data pengukuran tahanan isolasi belitan motor untuk perhitungan indeks polarisasi.

Tabel IV. Data Pengujian Indeks Polarisasi

Data Pengukuran Tahan Isolasi motor MCWP				
Belitan	MCWP A (MΩ)		MCWP B (MΩ)	
	Menit 1	Menit 10	Menit 1	Menit 10
U-G	23,2	34,6	35,2	58,6
V-G	21,4	32,2	66,4	121,6
W-G	25,7	31,7	43	109,7

D. Perhitungan Indeks Polarisasi

Berikut adalah perhitungan untuk mengetahui kualitas isolasi dari pada belitan motor MCWP yaitu dengan metode indeks polarisasi.

1) Perhitungan Indeks Polarisasi MCWP A:

a) Belitan U-Ground (U-G):

$$PI(U - G) = \frac{34.6}{23.2}$$

$$PI(U - G) = 1,49$$

b) Belitan V-Ground (V-G):

$$PI(V - G) = \frac{32.2}{21.4}$$

$$PI(V - G) = 1,5$$

c) Belitan W-Ground (W-G):

$$PI(W - G) = \frac{31.7}{25.7}$$

$$PI(W - G) = 1,23$$

2) Perhitungan Indeks Polarisasi MCWP B:

a) Belitan U-Ground (U-G):

$$PI(U - G) = \frac{58.6}{35.2}$$

$$PI(U - G) = 1,66$$

b) Belitan V-Ground (V-G):

$$PI(V - G) = \frac{121.6}{66.4}$$

$$PI(V - G) = 1,83$$

c) Belitan W-Ground (W-G):

$$PI(W - G) = \frac{109.7}{43}$$

$$PI(W - G) = 2,55$$

E. Data Dan Perhitungan Pembebanan Motor

Berikut merupakan beberapa data arus motor dan perhitungan rata-rata arusnya.

Tabel V. Data Arus Motor MCWP

Data Arus Motor MCWP PT PLN PLTP Lahendong	
MCWP A (A)	MCWP B (A)
431,5	430,3
430	430,6
430,5	430,7
434,5	432,9
432,7	432,7
432	432

1) Perhitungan Rata-rata Arus Motor

a) MCWP A

$$A = \frac{431,5 + 430 + 430,5 + 434,5 + 432,7 + 432}{6}$$

$$A = 431,86A$$

b) MCWP B

$$A = \frac{430,3 + 430,6 + 430,7 + 432,9 + 432,7 + 432}{6}$$

$$A = 431,53A$$

2) Perhitungan Daya Aktif

a) MCWP A

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 431,86 \cdot 0,77$$

$$P = 230.385W$$

b) MCWP B

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 431,53 \cdot 0,77$$

$$P = 230.209W$$

3) Perhitungan Rasio Pembebanan

a) MCWP A

$$K = \frac{230.385}{250.000}$$

$$K = 92,154\%$$

b) MCWP B

$$K = \frac{230.209}{250.000}$$

$$K = 92,0836\%$$

4) Perhitungan Temperatur Hotspot Motor Berdasarkan Pembebanan

Perhitungan temperature hotspot berdasarkan pembebanan membutuhkan bebarapa data yaitu seperti data suhu dan data kerugian berdasarkan pembebanan dimana pengukuran suhu sesuai dengan tanggal pengambilan data menunjukan nilai pada 31°C dan untuk data kerugian berdasarkan pembebanan adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel VI. Faktor Kerugian Berdasarkan Pembebanan

Beban (%)	Faktor Kerugian (%)
110	119
100	100
90	88
75	73
50	52

Berikut merupakan perhitungan temperature hotspot berdasarkan pembebanan.

$$T = \frac{88}{100} \cdot 115 + 31$$

$$T = 133^{\circ}\text{C}$$

F. Perhitungan Umur Motor Berdasarkan Pembebanan

Untuk menghitung umur motor pada MCWP di unit 2 PT. PLN PLTP Lahendong yaitu dengan berdasarkan pembebanan dimana seperti sudah diketahui bahwa umur motor jika berjalan pada pembebanan penuh atau pembebanan 100% memiliki usia sekitar 20.000Jam ($L_0=20.000$) dan berikut adalah perhitungan umur motor berdasarkan pembebanan.

$$L_{90} = 100\% \cdot 2^{\frac{155-133}{9,3}}$$

$$L_{90} = 515,363869\%$$

Perhitungan diatas adalah perhitungan umur motor dengan beban konstan sebesar 90% dimana dibandingkan dengan

beban pada motor MCWP di unit 2 PT. PLN PLTP Lahendong sehingga menjadi seperti pada perhitungan dibawah ini.

1) MCWP A

$$L_x = \frac{92,154}{100} \cdot \frac{515,363869}{100} 20.000$$

$$L_x = 94.985,684\text{Jam}$$

$$L_x = 10,8431146\text{Tahun}$$

2) MCWP B

$$L_x = \frac{92,0836}{100} \cdot \frac{515,363869}{100} 20.000$$

$$L_x = 94.913,1207\text{Jam}$$

$$L_x = 10,8348311\text{Tahun}$$

G. Perhitungan sisa umur motor berdasarkan standar DOE/TIC-11339

Berikut merupakan perhitungan sisa motor dengan mengambil data rata-rata umur motor menurut standar DOE/TIC-11339 dimana setiap motor memiliki umur yang berbeda dikelompokan menurut daya motor dan berikut perhitungan sisa umur motor MCWP unit 2 di PT. PLN PLTP Lahendong dimana dengan daya 250kW jika di konversikan ke horse power sama dengan 335.256 hp dimana motor pada MCWP di unit 2 PT. PLN PLTP Lahendong dikelompokan pada motor dengan umur rata-rata 29,3 Tahun dan motor ini dibuat pada tahun 2006 namun mulai beroperasi dari tahun 2007.

Dibawah ini merupakan data tambahan sisa umur motor jika dihitung menurut standar DOE/TIC-11339.

$$\text{SisaUmur} = 29,3 - (2023 - 2007)$$

$$\text{SisaUmur} = 29,3 - 16$$

$$\text{SisaUmur} = 13,3\text{Tahun}$$

III. HASIL DAN ANALISA

Hasil dari perhitungan-perhitungan sebelumnya dianalisa seperti berikut ini:

A. Hasil RMS Vibrasi Motor MCWP

Dibawah ini merupakan hasil perhitungan RMS yaitu untuk mengetahui nilai efektif dari sekumpulan data vibrasi khususnya data displacement pada kedua motor MCWP di unit 2 PT. PLN PLTP Lahendong dimana data adalah hasil pengukuran per setengah jam dalam seharian penuh dan terdapat 48 jumlah data dihitung nilai RMSnya.

Tabel VII. Hasil Perhitungan RMS Vibrasi Motor

Bearing	RMS Vibrasi (μm)
MCWP A(X)	0,89034
MCWP A(Y)	5,546
MCWP B(X)	0,56734
MCWP B(Y)	4,839

B. Hasil Perhitungan Indeks Polarisasi

Berikut ini merupakan hasil perhitungan indeks polarisasi dengan membandingkan nilai resistansi pada menit 10 pengukuran dengan menit 1 pengukuran dari belitan motor pada MCWP di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong.

Tabel VIII. Hasil Perhitungan Indeks Polarisasi Motor MCWPA

Belitan	Menit 1	Menit 10	PI
U-G	23,2	34,6	1,49
V-G	21,4	32,2	1,5
W-G	25,7	31,7	1,23

Tabel IX. Hasil Perhitungan Indeks Polarisasi Motor MCWPB

Belitan	Menit 1	Menit 10	PI
U-G	35,2	58,6	1,66
V-G	66,4	121,6	1,83
W-G	43	109,7	2,55

C. Hasil Perhitungan Umur Motor Berdasarkan Pembebanan

Berikut merupakan hasil perhitungan umur motor berdasarkan pembebanan dimana jika umur motor pada pembebanan penuh sudah diketahui.

Tabel X. Hasil Perhitungan Umur Motor Berdasarkan Pembebanan.

Motor	Pembebanan (%)	Sisa Umur (Tahun)
MCWP A	92,154	10,8431146
MCWP B	92,0836	10,8348311

D. Hasil Perhitungan Umur Motor Berdasarkan DOE/TIC-11339

Berdasarkan perhitungan sisa umur motor berikut merupakan sisa umur motor MCWP PT.PLN PLTP Lahendong berdasarkan DOE/TIC-11339.

Tabel XI. Hasil Perhitungan Umur Motor Berdasarkan DOE/TIC-11339

Rata-rata umur motor dengan daya >125 HP (Tahun)	Lama beroperasi (Tahun)	Sisa umur (Tahun)
29,3	16	13,3

E. Analisa Hasil Vibrasi

Berikut ini merupakan kondisi dari bearing motor pada MCWP di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong jika dibandingkan menurut standar ISO 10816-3 dimana bisa kita lihat bahwa vibrasi dari motor MCWP A dan MCWP B yang setiap motor memiliki 2 bearing yaitu bearing (X) dan bearing (Y) nilai vibrasinya berada pada lingkup dibawah 22 μ m sehingga dapat dikatakan kondisinya adalah mesin dengan keadaan baru dan tentu saja belum ada peringatan untuk maintenance.

Tabel XII. Analisa Vibrasi Motor Berdasarkan ISO 10816-3

Bearing	RMS Vibrasi (μ m)	ISO 10816-3
MCWP A(X)	0,89034	Kondisi Baru
MCWP A(Y)	5,546	Kondisi Baru
MCWP B(X)	0,56734	Kondisi Baru
MCWP B(Y)	4,839	Kondisi Baru

F. Analisa Hasil Indeks Polarisasi

Berdasarkan hasil perhitungan indeks polarisasi belitan motor khususnya belitan stator dimana terdapat 3 belitan yaitu belitan U, V dan W yang di hitung nilai resistansi dengan dengan Ground pada menit 1 dengan menit 10 dan nilai indeks polarisasi dari belitan U, V dan W motor MCWP A ketiganya sudah berada pada kondisi dibawah standar IEC 60085-1 yaitu belitan dengan tipe adalah 2 dan untuk motor MCWP B kondisi belitan sesuai dengan perhitungan indeks polarisasi hasilnya adalah untuk belitan U dan V MCWP B sama seperti pada MCWP A yaitu sudah dibawah standar dan untuk Belitan W kondisinya baik karena masih menurut standar yang diijinkan.

Tabel XIII. Analisa Hasil Indeks Polarisasi Menurut IEC 60085-01

Belitan	1' ($M\Omega$)	10' ($M\Omega$)	PI	IEC 60085-01	Kondisi
U-G(A)	23,2	34,6	1,49	2	Buruk
V-G(A)	21,4	32,2	1,5	2	Buruk
W-G(A)	25,7	31,7	1,23	2	Buruk
U-G(B)	35,2	58,6	1,66	2	Buruk
V-G(B)	66,4	121,6	1,83	2	Buruk
W-G(B)	43	109,7	2,55	2	Baik

G. Analisa Hasil Perhitungan Umur Motor

Umur dari motor pada MCWP di unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong dihitung menggunakan pembebanan karena umur motor pada pembebanan penuh telah diketahui yaitu sekitar 20.000 jam atau 2.28 tahun dan dengan menggunakan aturan 10°C mendapat persamaan seperti pada persamaan **Error! Reference source not found.** dimana persamaan ini membutuhkan beberapa data seperti maksimum temperature hotspot yang diijinkan yaitu menurut standar IEC 60085-1 adalah 155°C, umur motor pada pembebanan 100% , data hotspot temperature motor MCWP dan Halving Interval sehingga diperoleh umur dari MCWP A yaitu 94.985,684 jam atau 10,8431146 tahun dan MCWP B yaitu 94.913,1207 jam atau 10,8348311 tahun seperti pada tabel berikut.

Tabel XIV. Analisa Umur Motor Berdasarkan Pembebanan

Motor	Umur L100% (Tahun)	Pembebanan (%)	Sisa Umur (Tahun)
MCWP A	2.28	92,154	10,8431146

MCWP B	2.28	92,0836	10,8348311
--------	------	---------	------------

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil dan analisa yang telah dilakukan seperti pengukuran vibrasi, perhitungan indeks polarisasi dan perhitungan umur pada motor MCWP pada main cooling water pump di PT.PLN PLTP Lahendong dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi atau kualitas dari bearing dan isolasi motor MCWP pada main cooling water pump di PT.PLN PLTP Lahendong telah dievaluasi dan telah di uji kualitasnya yaitu dengan menggunakan perhitungan RMS untuk vibrasi dan Indeks Polarisasi untuk isolasi belitan.
2. Hasil pengujian RMS dan Indeks Polarisasi motor di PT.PLN PLTP Lahendong yaitu sebagai berikut:
 - Dari pengujian nilai root mean square vibrasi dan nilai indeks polarisasi isolasi belitan hasilnya adalah untuk nilai vibrasi dengan menggunakan metode root mean square jika dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 semua bearing dalam keadaan atau dengan kondisi yang bagus atau dikategorikan mesin dengan keadaan baru dimana semua nilai vibrasi motor MCWP berada di bawah 22 μ m.
 - Untuk kualitas isolasi belitan dengan dilakukan pengujian dengan metode indeks polarisasi nilainya jika dibandingkan dengan standar IEC 60085-01 adalah untuk semua belitan motor MCWP A yaitu belitan U, V dan W sudah tidak menurut standar karena nilai indeks polarisasinya sudah dibawah standar yaitu dengan nilai 2 melainkan untuk MCWP B hanya belitan U dan V yang tidak memenuhi standar yang karena belitan W nilainya diatas 2 dengan nilai 2,55.
3. Perhitungan umur dari motor MCWP A dan MCWP B dengan dilakukan perhitungan berdasarkan pembebanan adalah untuk MCWP A dengan beban 92,154% memiliki sisa umur 10,8431146 tahun dan untuk MCWP B dengan beban 92,0836% memiliki sisa umur 10,8348311 tahun.

B. Saran

Karena nilai indeks polarisasi belitan bisa dikatakan hampir semuanya sudah tidak memenuhi standar jadi penulis menyarankan kepada pihak PT.PLN PLTP Lahendong khususnya di unit 2 untuk segera melakukan pemeliharaan guna meningkatkan kualitas isolasi belitan agar tidak menjadi sumber kerusakan pada motor ataupun pada peralatan lain dan peneliti sadar bahwa penelitian ini tidak cukup akurat karena keterbatasan data khususnya data pembebanan jadi baiknya penelitian bisa dikembangkan lebih lanjut dimana data pembebanan dihitung juga dengan penambahan beban seiring waktu.

V. KUTIPAN

- [1]“ISO 10816-3:1998, Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotatong parts-Part 3: Industrial machines with nominal power above 15kW and nominal speeds between 120 r/min and 15.000 r/min when measured in situ.”
- [2]“IEEE Std. 43-2000 (Revision of IEEE Std 43-1974)- IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery.”
- [3]“IEC-60085-2007- Electrical insulation- Thermal evaluation and designation.”
- [4]N. G. Author, “Classification and evaluation of electric motors and pumps,” DOE/TIC-11339, 6719781, Sep. 1980. doi: 10.2172/6719781.
- [5]A. Purbianto and B. Setiyo Adji, “ANALISIS PERFORMA MAIN COOLING WATER PUMP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) PT.X,” JTI, vol. 1, no. 1, pp. 88–96, May 2021, doi: 10.52909/jti.v1i1.14.
- [6]“49952d097ee81c1693530d8425aae027.jpg (3355×2268).” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <http://www.neppump.com/data/upload/image/202112/49952d097ee81c1693530d8425aae027.jpg>
- [7]“Akudansemeta: POMPA dan Main Cooling Water Pump (MCWP).” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://semestapikiranuku.blogspot.com/2018/09/pompa-dan-main-cooling-water-pump-mcwp.html>
- [8]“PT. PLN (PERSERO), Indonesia.pdf.”
- [9]A. Wahyudi, “MOTOR FAILURE ANALYSIS”.
- [10] Hyprowira, “Penjelasan Vibrasi Adalah: Pengertian, Metode dan Satuannya.” Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://hyprowira.com/blog/vibrasi-adalah>
- [11] “Poe - Thermal Aging.” Accessed: Oct. 18, 2023. [Online]. Available: <https://poe.com/chat/2mkqgnzk754bgf379q0>
- [12] M. Jr, “Apa yang dimaksud dengan Vibrasi?,” Jasa Ukur Uji. Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://jasaukuruji.com/apa-yang-dimaksud-dengan-vibrasi/>
- [13] “Understanding Relative Ageing Rate: A Key Factor in Transformer Insulation Life.” Accessed: Oct. 12, 2023. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-relative-ageing-rate-key-factor-insulation-hanif>
- [14] “Thermal Aging - an overview | ScienceDirect Topics.” Accessed: Oct. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/thermal-aging>
- [15] E. L. Brancato, “Estimation of lifetime expectancies of motors,” IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 8, no. 3, pp. 5–13, May 1992, doi: 10.1109/57.139066.



Rudolf Riandy Raintama, Lahir di Tomohon pada tanggal 22 April 2000. Pada tahun 2018 memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik khususnya Teknik Elektro, pada tahun 2020 penulis mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Selama menempuh pendidikan, penulis juga merupakan anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Unsrat dan

aktif di beberapa kegiatan organisasi seperti Elektro Unsrat Robotik. Selain itu, penulis juga melaksanakan kegiatan magang di PT.PLN PLTP Lahendong khususnya unit 1 dan 2. Pada bulan desember 2023, penulis telah menyelesaikan pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan judul penelitian adalah Perhitungan Umur Motor 2x250 kW Pada Main Cooling Water Pump Di Unit 2 PT.PLN PLTP Lahendong.