

Analisa Nilai Efektivitas Radiator pada Interbus Transformer 500 MVA di Gitet Paiton

Satria Rizky Novani Fasah¹, Margianto², Nur Robbi³

¹Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
e-mail : satria.risky.sr@gmail.com

²Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail : margianto@unisma.ac.id

³Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
e-mail : nurrobby@unisma.ac.id

ABSTRAK

Listrik menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia, PT PLN menjadi penanggung jawab kelistrikan nasional di Indonesia. Salah satu PLTU terbesar di Jawa berada di Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Listrik yang berasal dari PLTU atau pabrik listrik tidak dapat dinikmati konsumen apabila tidak terdapat jaringan transmisi yang nantinya berlanjut ke jaringan distribusi, jaringan transmisi merupakan salah satu dari tiga komponen penting dalam penyaluran tenaga listrik. Maka dari itu diperlukannya suatu sistem pengamanan atau proteksi yang baik guna melindungi peralatan transmisi di gardu induk dari kecelakaan atau kerusakan, salah satu peralatan tenaga listrik yang terletak di gardu induk adalah transformator daya. Interbus Transformer (IBT) adalah transformator yang dapat menghubungkan dua sistem transmisi dengan tegangan yang berbeda. Mereka juga dapat digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dari pembangkit listrik dan menyalurkan daya dari sisi pembangkitan ke pusat beban dari satu tingkat tegangan ke tingkat tegangan lainnya. Ada sistem pendingin yang disebut radiator yang berfungsi untuk membantu menyeimbangkan panas yang terjadi dalam Interbus Transformer. Untuk melakukannya, radiator membutuhkan fluida atau minyak trafo. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bagaimana variasi nilai pembebanan berdampak pada efektivitas radiator pada IBT 500 MVA di Gitet Paiton. Penelitian ini merupakan penelitian secara analisis pengaruh kenaikan nilai beban terhadap nilai efektivitas radiator pada Interbus Transformer 500 MVA di Gitet Paiton. Dimana analisa yang dilakukan menggunakan perhitungan efektivitas radiator untuk mengetahui berapa nilai efektivitas pendinginan radiator dalam menyerap panas pada minyak transformator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efektivitas radiator yang diperoleh pada kondisi beban 850 A sebesar 46,59% ,Pada kondisi beban 1000 A nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 47% . Dan Pada kondisi beban 1200 A nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 49%. jadi Efektivitas radiator yang tinggi menunjukkan bahwa radiator mampu mentransfer panas antara fluida panas dan dingin dengan efisien, sehingga menjaga suhu fluida pada level yang diinginkan

PENDAHULUAN

Energi Listrik sebagai kebutuhan primer untuk menunjang dan memenuhi kebutuhan hidup umat manusia. Ada tiga komponen utama sistem tenaga listrik antara lain : pusat pembangkit listrik, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi.[1]Sesuai Peraturan Pemerintah No. 18 tahun 1972, sistem tenaga listrik Indonesia dikelola oleh pemerintah, dan Perusahaan Listrik Negara (PT. PLN) ditunjuk sebagai penanggung jawab sistem tenaga listrik nasional. PLTU Paiton merupakan pemasok listrik terbesar se Jawa-Bali[2]. Setelah listrik di produksi pasti memerlukan jaringan transmisi. GITET Paiton memainkan peran penting dalam penyediaan energi listrik 150 KV ke beberapa wilayah di Jawa Timur, termasuk Probolinggo, Lumajang, Situbondo, Banyuwangi, dan Pulau Bali. Sebanyak 3.100 MW energi listrik dari

Pembangkit Paiton dialirkan melalui SUTET 500 KV melalui Interbus Transformer (IBT)[3].

Interbus Transformer (IBT) bekerja terus menerus yang dapat mengakibatkan overheating, maka diperlukannya sistem pendinginan untuk menstabilkan suhu di dalam Interbus Transformer (IBT). Proses pelepasan panas yang dihasilkan oleh beban trafo yang terus meningkat melibatkan satu peralatan pendingin yaitu radiator. Radiator memerlukan bantuan fluida yaitu minyak transformator sebagai perantara penyerapan panas dan juga sebagai isolasi serta pendingin pada transformator.



Gambar 1. Interbus Transformer beserta pipa-pipa utama



Gambar 2. Radiator

Komponen	Spesifikasi
Radiator terendam oli	Tipe leher angsa, PC, tipe PG
Volume radiator	130 mm x 25 mm x 280 mm
Volume pipa	Tebal 1 mm x lebar 25 mm x panjang 15 mm
Bahan mentah :	SPCC dan baja stainless
Merk	ABB

Tabel 1. Spesifikasi radiator[4]

Selama fluida melewati sumber panas di dalam bagian transformator, panas diserap dan ditransfer ke sistem pendinginan. Radiator menggunakan sirip-sirip di sisi tube atau pipa yang terhubung ke radiator. Ini membantu mengalirkan fluida panas ke bagian sirip-sirip, yang kemudian memungkinkan perpindahan panas konveksi alami, di mana panas dikeluarkan ke atmosfer melalui hembusan udara sekitar. Bersamaan dengan semakin tingginya ukuran dan bertambahnya rating daya transformator, amatlah tidak ekonomis bila mengandalkan suhu sekitar untuk konveksi dengan cara natural atau alami, alhasil butuh dilakukan konveksi dengan cara dipaksakan (forced). Pada bagian ini minyak transformator yang sedang bersirkulasi secara natural diradiator akan dibantu pendinginannya dengan kipas. Sistem pendingin seperti ini biasa disebut dengan ONAF (Oil Natural Air Forced).[5]

Efektivitas suatu radiator berimbas besar

terhadap sistem pendinginan transformator oleh sebab itu penulis begitu tertarik untuk menganalisa tingkat kesuksesan yang dicapai radiator dengan metode menjaga temperatur minyak yang masuk kedalam transformator tidak lebih besar ataupun sebanding dengan temperatur minyak yang keluar dari transformator, sehingga membuat transformator bisa bekerja secara maksimal. Pada penelitian kali ini menggunakan rumus metode efektivitas pendinginan radiator[6].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menyelidiki bagaimana kenaikan nilai beban berdampak pada nilai efektivitas radiator pada Interbus Transformer 500 MVA di Gitet Paiton. Perhitungan efektivitas radiator digunakan untuk menghitung nilai efektifitas radiator untuk menyerap panas dari minyak transformator.

Penggolongan data berdasarkan data primer yang diambil melalui pengukuran dan observasi lapangan di Switchyard dan control room GITET Paiton. Tempat penelitian dilakukan di GITET Paiton 500kV, Unit Pemeliharaan Transmisi Probolinggo - PT.PLN. Waktu pelaksanaan berlangsung selama enam bulan yaitu dimulai dari bulan Juli 2023 sampai dengan Desember 2023

Alat dan Bahan

1. Scada (*Supervisory Control and Data Acquisition*)
2. *Thermocouple*
3. Thermometer air raksa
4. Anemometer
5. Flowmeter
6. Jangka sorong
7. Stopwatch
8. Kunci-kunci
9. Radiator merk ABB
10. Minyak transformator

Proses pengambilan data

1. Pada saat Interbus Transformer (IBT) dalam keadaan berbeban atau tersambung dengan sistem transmisi di GITET Paiton. Tunggu hingga beban atau arus yang dihasilkan oleh Interbus Transformer (IBT) mencapai nilai yang diinginkan. Untuk mengetahui nilai beban (arus) adalah Current Transformer yang terpasang pada Interbus Transformer (IBT) yang terkoneksi oleh sistem SCADA. Maka akan diperoleh nilai besaran arus yang akan digunakan sebagai variabel pengujian. Proses pengambilan data dilakukan dengan

menggunakan tiga variasi nilai pembebanan dari satu merk dan jenis minyak transformator yang digunakan, yaitu 850 Ampere, 1000 Ampere, dan 1200 Ampere. .

2. Pengambilan data dilakukan pada temperatur minyak mencapai 50°C untuk besaran nilai suhu minyak bisa dilihat melalui Rele thermal. Hal tersebut juga dikarenakan kipas radiator mulai bekerja mengikuti setting Rele thermal yang sudah terpasang di IBT oleh pabrikan dan settingan awal untuk menggerakkan kipas radiator pada suhu 50°C.
3. Selanjutnya, dilihat pada flowmeter untuk memastikan apakah aliran telah mengalir atau tidak sebelum mencatat data.
4. Pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur temperatur minyak ($T_{h \text{ in}}$), temperatur udara ($T_{c \text{ in}}$), Alat ukur temperatur untuk minyak transformator ($T_{h \text{ in}}$) dan ($T_{h \text{ out}}$) menggunakan thermometer air raksa dan untuk mengukur temperatur udara dari kipas radiator ($T_{c \text{ in}}$) dan ($T_{c \text{ out}}$) menggunakan thermocouple.
5. Gunakan anemometer untuk mengukur kecepatan udara baik di depan ($v_{u \text{ in}}$) maupun di belakang radiator ($v_{u \text{ out}}$).
6. Untuk mengukur debit aliran fluida panas pada radiator (Q_h) menggunakan flowmeter [7].

No.	I (A)	$T_{h \text{ in}}$ (°C)	$T_{h \text{ out}}$ (°C)	$T_{c \text{ in}}$ (°C)	$T_{c \text{ out}}$ (°C)	$v_{u \text{ in}}$ (m/s)	$v_{u \text{ out}}$ (m/s)	Q_h (m³/s)
1	850	58	45	30,1	32	8	3,6	0,00005
2	1000	62	47	30,4	34	8	3,6	0,00006
3	1200	65	48	30,4	34,4	8	3,6	0,000065

Tabel 2. Data awal operasi ketika beban Interbus Transformer dinilai 800A,1200A
Dari data awal hasil eksperimen di atas untuk mencari nilai efektifitasnya dapat dipergunakan rumus[8] :

(e) Untuk Mencari Efektivitas Radiator

$$\varepsilon = \frac{q_{act}}{q_{max}}$$

ε = Efektivitas radiator

q_{act} =laju transfer panas aktual

q_{max} =laju transfer panas maksimal

7. Tapi sebelum menghitung dengan rumus Efektivitas seperti diatas maka terlebih dahulu melakukan perhitungan Densitas dan Kalor Spesifik Minyak Transformator(pada kondisi nilai beban 850 A). Dengan mengetahui temperatur rata-rata dari Minyak Transformator, Anda dapat menemukan parameter yang digunakan untuk perhitungan.

$$T_{h \text{ rata-rata}} = \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2}$$

$$T_{h \text{ rata-rata}} = \frac{50^\circ\text{C} + 45^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_{h \text{ rata-rata}} = 51,5^\circ\text{C}$$

Setelah hasil yang didapat dari temperatur rata-rata senilai 51,5°C adalah sifat fluida sebagai berikut:

ρ = Density(Massa jenis) (kg/m³)

C_p = Kalor spesifik fluida panas (J/kg. °C)

Tabel A-13 *properties of liquids* dapat diakses dengan menginterpolasi nilai suhu rata-rata fluida 51,5°C. Properties transformator dapat diperoleh dari tabel tersebut.

Nilai yang akan digunakan dalam pencarian ditulis sebagai "x", dan nilai interpolasi yang ingin kita temukan ditulis sebagai "y". Dengan demikian, kita akan menghasilkan persamaan yang akan diturunkan.

TABLE A-13 Properties of Liquids									
Temp. T, °C	Density ρ , kg/m³	Specific Heat, c_p , kJ/kg·K	Thermal Conductivity, k , W/m·K	Thermal Diffusivity, α , m²/s	Dynamic Viscosity, μ , kg/m·s	Kinematic Viscosity, ν , m²/s	Prandtl No., Pr	Volume Expansion Coeff. β , 1/K	Volume Fraction Liquid
Metals (°C)									
-100	4302	3492	0.1862	1.270 × 10 ⁻⁷	1.132 × 10 ⁻⁴	2.639 × 10 ⁻⁷	1.138	0.00050	
-100	8020	4380	0.1703	1.176 × 10 ⁻⁷	9.164 × 10 ⁻⁵	2.564 × 10 ⁻⁷	1.257	0.00050	
-140	588.6	5700	0.1559	1.077 × 10 ⁻⁷	7.552 × 10 ⁻⁵	1.292 × 10 ⁻⁷	1.363	0.00044	
-180	272.3	8870	0.1402	9.709 × 10 ⁻⁸	6.288 × 10 ⁻⁵	5.464 × 10 ⁻⁸	1.790	0.00020	
-100	331.8	4186	0.1270	8.638 × 10 ⁻⁸	5.227 × 10 ⁻⁵	1.496 × 10 ⁻⁷	1.720	0.00027	
-100	1206.8	4811	0.1119	7.704 × 10 ⁻⁸	4.277 × 10 ⁻⁵	1.171 × 10 ⁻⁷	1.810	0.00041	
-100	351.0	5578	0.09617	5.781 × 10 ⁻⁸	3.577 × 10 ⁻⁵	1.586 × 10 ⁻⁷	2.053	0.00020	
-90	861.7	8602	0.07987	3.423 × 10 ⁻⁸	2.791 × 10 ⁻⁵	3.246 × 10 ⁻⁷	3.060	0.00040	
Metals (°C)									
20	999.8	2515	0.1807	1.852 × 10 ⁻⁷	5.857 × 10 ⁻⁵	7.426 × 10 ⁻⁸	7.814	0.00118	
30	779.1	2577	0.1809	9.862 × 10 ⁻⁸	5.086 × 10 ⁻⁵	6.531 × 10 ⁻⁸	6.627	0.00120	
40	760.6	2644	0.1812	8.686 × 10 ⁻⁸	4.662 × 10 ⁻⁵	5.746 × 10 ⁻⁸	5.866	0.00123	
60	700.2	2716	0.1805	6.509 × 10 ⁻⁸	3.942 × 10 ⁻⁵	4.349 × 10 ⁻⁸	4.859	0.00127	
80	660.6	2790	0.1803	5.220 × 10 ⁻⁸	3.514 × 10 ⁻⁵	3.917 × 10 ⁻⁸	5.018	0.00132	
90	641.7	2802	0.1802	4.128 × 10 ⁻⁸	2.761 × 10 ⁻⁵	3.046 × 10 ⁻⁸	6.002	0.00137	
Nonmetals (°C)									
-100	682.8	1801	0.1800	1.076 × 10 ⁻⁷	8.303 × 10 ⁻⁵	1.216 × 10 ⁻⁷	12.80	0.00142	
-75	675.3	1870	0.1807	1.044 × 10 ⁻⁷	5.024 × 10 ⁻⁵	8.511 × 10 ⁻⁸	8.107	0.00150	
-50	659.8	2069	0.1808	9.773 × 10 ⁻⁸	4.708 × 10 ⁻⁵	7.149 × 10 ⁻⁸	6.619	0.00161	
-25	606.3	2180	0.1801	8.506 × 10 ⁻⁸	2.688 × 10 ⁻⁵	4.432 × 10 ⁻⁸	4.365	0.00177	
0	598.6	2206	0.1809	7.894 × 10 ⁻⁸	1.899 × 10 ⁻⁵	3.172 × 10 ⁻⁸	4.304	0.00199	
25	550.7	2415	0.1806	7.564 × 10 ⁻⁸	1.512 × 10 ⁻⁵	2.745 × 10 ⁻⁸	3.980	0.00212	
50	517.3	2640	0.1801	6.255 × 10 ⁻⁸	1.155 × 10 ⁻⁵	2.253 × 10 ⁻⁸	3.580	0.00206	
75	476.3	2896	0.1797	5.463 × 10 ⁻⁸	8.780 × 10 ⁻⁶	1.846 × 10 ⁻⁸	3.868	0.00180	
100	439.6	3161	0.1800	4.834 × 10 ⁻⁸	6.468 × 10 ⁻⁶	1.519 × 10 ⁻⁸	3.250	0.00209	
Organics (°C)									
0	1270	2262	0.2803	9.773 × 10 ⁻⁸	15.48	8.219 × 10 ⁻⁷	86.301		
10	1270	2306	0.2809	9.732 × 10 ⁻⁸	6.730	8.281 × 10 ⁻⁷	64.327		
20	1270	2350	0.2806	9.642 × 10 ⁻⁸	4.241	3.339 × 10 ⁻⁷	34.841		
30	1267	2394	0.2800	9.576 × 10 ⁻⁸	2.499	1.970 × 10 ⁻⁷	20.570		
40	1268	2440	0.2800	9.486 × 10 ⁻⁸	1.619	1.281 × 10 ⁻⁷	12.871		
50	1261	2416	0.2802	9.588 × 10 ⁻⁸	0.7609	7.878 × 10 ⁻⁸	4.292		
60	1260	2447	0.2803	9.791 × 10 ⁻⁸	0.6582	5.212 × 10 ⁻⁸	5.831		
80	1235	2476	0.2802	9.180 × 10 ⁻⁸	0.6347	5.068 × 10 ⁻⁸	6.767		
100	1232	2512	0.2803	9.151 × 10 ⁻⁸	0.6075	5.495 × 10 ⁻⁸	5.837		
Organics (°C)									
-10	890.0	1707	0.1400	9.297 × 10 ⁻⁸	3.812	4.282 × 10 ⁻⁷	46.936	0.00070	
0	886.1	1801	0.1402	9.481 × 10 ⁻⁸	0.6716	8.479 × 10 ⁻⁸	10.585	0.00070	
40	876.0	2068	0.1406	8.281 × 10 ⁻⁸	0.2177	2.486 × 10 ⁻⁷	2.982	0.00070	
60	862.0	2240	0.1404	7.536 × 10 ⁻⁸	0.07790	8.905 × 10 ⁻⁸	1.080	0.00070	
80	842.0	2332	0.1400	7.899 × 10 ⁻⁸	0.02220	5.794 × 10 ⁻⁸	4.648	0.00070	
100	846.0	2220	0.1407	7.283 × 10 ⁻⁸	0.01718	2.046 × 10 ⁻⁷	3.791	0.00070	
120	870.0	1938	0.1347	7.642 × 10 ⁻⁸	0.01026	1.241 × 10 ⁻⁷	1.99	0.00070	
140	816.8	2195	0.1330	6.788 × 10 ⁻⁸	0.008308	9.126 × 10 ⁻⁸	1.18	0.00070	
160	810.9	2441	0.1327	6.708 × 10 ⁻⁸	0.005044	6.195 × 10 ⁻⁸	0.873	0.00070	

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Originally based on various sources.

Tabel 3. Tabel A-13 Properties of liquids

Temperature	Keterangan	Massa Jenis	Keterangan
40°C	X_1	876,0 kg/ m^3	Y_1
51,5°C	$X_{\square}$	?	$Y_{\square}$
60°C	X_2	863,9 kg/ m^3	Y_2

Tabel 4. Data untuk mendapatkan nilai massa jenis dengan persamaan interpolasi linear

Berikut rumus dalam mendapatkan nilai Densitas pada fluida minyak[9]:

$$\left(\frac{X - X_2}{X_1 - X_2} \right) = \left(\frac{Y - Y_2}{Y_1 - Y_2} \right)$$

$$\left(\frac{51,5^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}}{40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}}\right) = \left(\frac{Y - 863,9 \text{ kg/m}^3}{876,0 \text{ kg/m}^3 - 863,9 \text{ kg/m}^3}\right)$$

$$\left(\frac{-8,5^{\circ}\text{C}}{-20^{\circ}\text{C}}\right) = \left(\frac{Y - 863,9 \text{ kg/m}^3}{12,1 \text{ kg/m}^3}\right)$$

$$\left(\frac{-102,85^{\circ}\text{C}}{-20^{\circ}\text{C}}\right) = (Y - 863,9 \text{ kg/m}^3)$$

$$(5,1425 + 863,9) = Y$$

$$869,042 \text{ kg/m}^3 = Y$$

8. Setelah mendapatkan nilai densitas fluida, kemudian menghitung panas spesifik. Nilai kalor spesifik dipengaruhi oleh temperatur rata-rata fluida tersebut. Kalor spesifik diperoleh dengan perhitungan interpolasi dengan menggunakan tabel A-13 properties of liquids. Berikut perhitungan Cph untuk data minyak transformator :

Temperature	Keterangan	Kalor spesifik fluida panas	Keterangan
40°C	X ₁	1964 J/kg.°C	Y ₁
51,5°C	X	?	Y
60°C	X ₂	2048 J/kg.°C	Y ₂

Tabel 5. Data untuk mendapatkan nilai kalor spesifik dengan persamaan interpolasi linear

Berikut rumus dalam mendapatkan nilai kalor spesifik pada fluida minyak:

$$\left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1}\right) = \left(\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1}\right)$$

$$\left(\frac{51,5^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}}{60^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}}\right) = \left(\frac{Y - 1964 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C}}{2048 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} - 1964 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C}}\right)$$

$$\left(\frac{11,5^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C}}\right) = \left(\frac{Y - 1964 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C}}{84 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C}}\right)$$

$$2012,3 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} = Y$$

Jadi diperoleh nilai ph pada temperatur 51,5°C di beban keluaran Interbus Transformer 850 A sebesar 869,042kg/m³ dan nilai Cph pada temperatur 51,5°C di beban keluaran Interbus Transformer 850 A sebesar 2012,3 J/kg.°C.

9. Perhitungan kecepatan fluida minyak dilakukan (pada kondisi nilai beban 850 A).(pada kondisi nilai beban 850 A)[10]

$$A_{\text{pipa radiator}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{in pipa}}^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot (0,28)^2 \text{ m}^2$$

$$= 0,06154 \text{ m}^2 \text{ atau } 6,154 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Oleh karena itu, kecepatan dapat dihitung dengan menggunakan nilai luas penampang radiator yang sudah didapat di bawah ini[10].

$$V_h = \frac{Q_h}{A_{\text{pipa}}}$$

$$= \frac{0,00005 \text{ m}^3/\text{s}}{0,06154 \text{ m}^2}$$

$$= 0,000812 \text{ m/s} \text{ atau } 812 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

10. Tahapan selanjutnya yaitu melakukan perhitungan laju aliran massa fluida

minyak(pada kondisi nilai beban 850 A)[11]

$$\dot{m}_h = \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}}$$

$$= 869,042 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000812 \text{ m/s} \cdot 0,061544 \text{ m}^2$$

$$= 0,04342 \text{ kg/s} \text{ atau } 4342 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

$$q_h = \dot{m}_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta t_h (T_{h \text{ in}} - T_{h \text{ out}})$$

$$= 0,04342 \text{ kg/s} \cdot 2012,3 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} \cdot (58^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C})$$

$$= 1.136,702 \text{ J/s atau } 1.136,702 \text{ Watt}$$

Setelah kita mendapatkan nilai laju aliran massa selanjutnya kita melakukan perhitungan pada fluida udara pada radiator untuk mendapatkan nilai Densitas dan Kalor spesifik dengan rumus-rumus yang hampir sama seperti sebelumnya.

11. Adapun parameter yang digunakan untuk perhitungan nilai Densitas dan Kalor spesifik dapat dicari dengan cara menentukan temperatur rata-rata dari udara pada radiator.

$$T_{c \text{ rata-rata}} = \frac{T_{c \text{ in}} + T_{c \text{ out}}}{2}$$

$$T_{c \text{ rata-rata}} = \frac{30,1^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_{c \text{ rata-rata}} = 31,05^{\circ}\text{C}$$

Setelah hasil yang didapat dari temperatur rata-rata senilai 31,05°C adalah sifat fluida sebagai berikut:

pc = Density(Massa jenis) (kg/m³)

Cpc= Kalor spesifik fluida dingin (J/kg. °C)

Tabel A-15 *properties of air at 1 atm pressure* dapat ditemukan dengan menginterpolasi nilai temperatur rata-rata fluida 31,05°C. Properties udara pada radiator diperoleh dari tabel ini. Nilai yang akan digunakan dalam pencarian ditulis sebagai "x", dan nilai interpolasi yang ingin kita temukan ditulis sebagai "y". Dengan demikian, kita akan menghasilkan persamaan yang akan diturunkan[12].

TABLE A-15 Properties of air at 1 atm pressure						
Temp. T, °C	Density ρ, kg/m³	Specific Heat c _p , kJ/kg·K	Thermal Conductivity k, W/m·K	Thermal Diffusivity α, m²/s	Dynamic Viscosity μ, kg/m·s	Kinematic Viscosity ν, m²/s
-100	0.866	0.865	0.01171	4.59 × 10 ⁻⁶	8.89 × 10 ⁻⁵	0.0103 × 10 ⁻⁴
-80	0.738	0.96	0.01062	6.03 × 10 ⁻⁶	1.39 × 10 ⁻⁴	0.190 × 10 ⁻⁴
-60	0.595	0.999	0.01009	7.29 × 10 ⁻⁶	1.87 × 10 ⁻⁴	0.314 × 10 ⁻⁴
-40	0.474	1.052	0.01007	8.29 × 10 ⁻⁶	2.27 × 10 ⁻⁴	0.479 × 10 ⁻⁴
-20	0.381	1.054	0.01014	9.46 × 10 ⁻⁶	2.69 × 10 ⁻⁴	0.706 × 10 ⁻⁴
0	0.349	1.005	0.02211	1.57 × 10 ⁻⁵	1.81 × 10 ⁻⁴	0.518 × 10 ⁻⁴
10	0.341	1.006	0.02209	1.69 × 10 ⁻⁵	1.69 × 10 ⁻⁴	0.492 × 10 ⁻⁴
20	0.336	1.006	0.02207	1.81 × 10 ⁻⁵	1.59 × 10 ⁻⁴	0.472 × 10 ⁻⁴
30	0.332	1.006	0.02205	1.94 × 10 ⁻⁵	1.50 × 10 ⁻⁴	0.452 × 10 ⁻⁴
40	0.328	1.006	0.02203	2.07 × 10 ⁻⁵	1.42 × 10 ⁻⁴	0.436 × 10 ⁻⁴
50	0.324	1.006	0.02201	2.21 × 10 ⁻⁵	1.35 × 10 ⁻⁴	0.423 × 10 ⁻⁴
60	0.320	1.006	0.02200	2.35 × 10 ⁻⁵	1.29 × 10 ⁻⁴	0.412 × 10 ⁻⁴
70	0.317	1.006	0.02199	2.50 × 10 ⁻⁵	1.24 × 10 ⁻⁴	0.403 × 10 ⁻⁴
80	0.314	1.006	0.02198	2.65 × 10 ⁻⁵	1.20 × 10 ⁻⁴	0.395 × 10 ⁻⁴
90	0.311	1.006	0.02197	2.81 × 10 ⁻⁵	1.16 × 10 ⁻⁴	0.388 × 10 ⁻⁴
100	0.308	1.006	0.02196	2.97 × 10 ⁻⁵	1.13 × 10 ⁻⁴	0.382 × 10 ⁻⁴
110	0.305	1.006	0.02195	3.14 × 10 ⁻⁵	1.10 × 10 ⁻⁴	0.377 × 10 ⁻⁴
120	0.302	1.006	0.02194	3.32 × 10 ⁻⁵	1.07 × 10 ⁻⁴	0.373 × 10 ⁻⁴
130	0.299	1.006	0.02193	3.50 × 10 ⁻⁵	1.05 × 10 ⁻⁴	0.369 × 10 ⁻⁴
140	0.296	1.006	0.02192	3.69 × 10 ⁻⁵	1.03 × 10 ⁻⁴	0.366 × 10 ⁻⁴
150	0.293	1.006	0.02191	3.88 × 10 ⁻⁵	1.01 × 10 ⁻⁴	0.363 × 10 ⁻⁴
160	0.290	1.006	0.02190	4.08 × 10 ⁻⁵	9.90 × 10 ⁻⁵	0.360 × 10 ⁻⁴
170	0.287	1.006	0.02189	4.28 × 10 ⁻⁵	9.70 × 10 ⁻⁵	0.357 × 10 ⁻⁴
180	0.284	1.006	0.02188	4.49 × 10 ⁻⁵	9.50 × 10 ⁻⁵	0.354 × 10 ⁻⁴
190	0.281	1.006	0.02187	4.70 × 10 ⁻⁵	9.30 × 10 ⁻⁵	0.351 × 10 ⁻⁴
200	0.278	1.006	0.02186	4.92 × 10 ⁻⁵	9.10 × 10 ⁻⁵	0.348 × 10 ⁻⁴
210	0.275	1.006	0.02185	5.14 × 10 ⁻⁵	8.90 × 10 ⁻⁵	0.345 × 10 ⁻⁴
220	0.272	1.006	0.02184	5.36 × 10 ⁻⁵	8.70 × 10 ⁻⁵	0.342 × 10 ⁻⁴
230	0.269	1.006	0.02183	5.59 × 10 ⁻⁵	8.50 × 10 ⁻⁵	0.339 × 10 ⁻⁴
240	0.266	1.006	0.02182	5.82 × 10 ⁻⁵	8.30 × 10 ⁻⁵	0.336 × 10 ⁻⁴
250	0.263	1.006	0.02181	6.05 × 10 ⁻⁵	8.10 × 10 ⁻⁵	0.333 × 10 ⁻⁴
260	0.260	1.006	0.02180	6.29 × 10 ⁻⁵	7.90 × 10 ⁻⁵	0.330 × 10 ⁻⁴
270	0.257	1.006	0.02179	6.53 × 10 ⁻⁵	7.70 × 10 ⁻⁵	0.327 × 10 ⁻⁴
280	0.254	1.006	0.02178	6.77 × 10 ⁻⁵	7.50 × 10 ⁻⁵	0.324 × 10 ⁻⁴
290	0.251	1.006	0.02177	7.02 × 10 ⁻⁵	7.30 × 10 ⁻⁵	0.321 × 10 ⁻⁴
300	0.248	1.006	0.02176	7.27 × 10 ⁻⁵	7.10 × 10 ⁻⁵	0.318 × 10 ⁻⁴
310	0.245	1.006	0.02175	7.52 × 10 ⁻⁵	6.90 × 10 ⁻⁵	0.315 × 10 ⁻⁴
320	0.242	1.006	0.02174	7.77 × 10 ⁻⁵	6.70 × 10 ⁻⁵	0.312 × 10 ⁻⁴
330	0.239	1.006	0.02173	8.02 × 10 ⁻⁵	6.50 × 10 ⁻⁵	0.309 × 10 ⁻⁴
340	0.236	1.006	0.02172	8.27 × 10 ⁻⁵	6.30 × 10 ⁻⁵	0.306 × 10 ⁻⁴
350	0.233	1.006	0.02171	8.52 × 10 ⁻⁵	6.10 × 10 ⁻⁵	0.303 × 10 ⁻⁴
360	0.230	1.006	0.02170	8.77 × 10 ⁻⁵	5.90 × 10 ⁻⁵	0.300 × 10 ⁻⁴
370	0.227	1.006	0.02169	9.02 × 10 ⁻⁵	5.70 × 10 ⁻⁵	0.297 × 10 ⁻⁴
380	0.224	1.006	0.02168	9.27 × 10 ⁻⁵	5.50 × 10 ⁻⁵	0.294 × 10 ⁻⁴
390	0.221	1.006	0.02167	9.52 × 10 ⁻⁵	5.30 × 10 ⁻⁵	0.291 × 10 ⁻⁴
400	0.218	1.006	0.02166	9.77 × 10 ⁻⁵	5.10 × 10 ⁻⁵	0.288 × 10 ⁻⁴
410	0.215	1.006	0.02165	1.00 × 10 ⁻⁴	4.90 × 10 ⁻⁵	0.285 × 10 ⁻⁴
420	0.212	1.006	0.02164	1.02 × 10 ⁻⁴	4.70 × 10 ⁻⁵	0.282 × 10 ⁻⁴
430	0.209	1.006	0.02163	1.04 × 10 ⁻⁴	4.50 × 10 ⁻⁵	0.279 × 10 ⁻⁴
440	0.206	1.006	0.02162	1.06 × 10 ⁻⁴	4.30 × 10 ⁻⁵	0.276 × 10 ⁻⁴
450	0.203	1.006	0.02161	1.08 × 10 ⁻⁴	4.10 × 10 ⁻⁵	0.273 × 10 ⁻⁴
460	0.200	1.006	0.02160	1.10 × 10 ⁻⁴	3.90 × 10 ⁻⁵	0.270 × 10 ⁻⁴
470	0.197	1.006	0.02159	1.12 × 10 ⁻⁴	3.70 × 10 ⁻⁵	0.267 × 10 ⁻⁴
480	0.194	1.006	0.02158	1.14 × 10 ⁻⁴	3.50 × 10 ⁻⁵	0.264 × 10 ⁻⁴
490	0.191	1.006	0.02157	1.16 × 10 ⁻⁴	3.30 × 10 ⁻⁵	0.261 × 10 ⁻⁴
500	0.188	1.006	0.02156	1.18 × 10 ⁻⁴	3.10 × 10 ⁻⁵	0.258 × 10 ⁻⁴
510	0.185	1.006	0.02155	1.20 × 10 ⁻⁴	2.90 × 10 ⁻⁵	0.255 × 10 ⁻⁴
520	0.182	1.006	0.02154	1.22 × 10 ⁻⁴	2.70 × 10 ⁻⁵	0.252 × 10 ⁻⁴
530	0.179	1.006	0.02153	1.24 × 10 ⁻⁴	2.50 × 10 ⁻⁵	0.249 × 10 ⁻⁴
540	0.176	1.006	0.02152	1.26 × 10 ⁻⁴	2.30 × 10 ⁻⁵	0.246 × 10 ⁻⁴
550	0.173	1.006	0.02151	1.28 × 10 ⁻⁴	2.10 × 10 ⁻⁵	0.243 × 10 ⁻⁴
560	0.170	1.006	0.02150	1.30 × 10 ⁻⁴	1.90 × 10 ⁻⁵	0.240 × 10 ⁻⁴
570	0.167	1.006	0.02149	1.32 × 10 ⁻⁴	1.70 × 10 ⁻⁵	0.237 × 10 ⁻⁴
580	0.164	1.006	0.02148	1.34 × 10 ⁻⁴	1.50 × 10 ⁻⁵	0.234 × 10 ⁻⁴
590	0.161	1.006	0.02147	1.36 × 10 ⁻⁴	1.30 × 10 ⁻⁵	0.231 × 10 ⁻⁴
600	0.158	1.006	0.02146	1.38 × 10 ⁻⁴	1.10 × 10 ⁻⁵	0.228 × 10 ⁻⁴

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , and μ are independent of pressure. The properties ρ , α , and ν at a pressure P for air other than 1 atm are determined by multiplying the values at $P = 1$ atm by the factor P/P_0 .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1983; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3, Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11, University of New Brunswick, N. B., Canada, and P. Hestermann, 1970; Properties, Vol. 1, 1970, 1970, 1970, 1970, 1970.

Tabel 6. Tabel A-15 properties of air at 1 atm pressure

Temperature	Keterangan	Massa Jenis	Keterangan
30°C	X ₁	1,164 kg/m³	Y ₁
31,05°C	X _□	?	Y _□
35°C	X ₂	1,145 kg/m³	Y ₂

Tabel 7. Data untuk mendapatkan nilai massa jenis dengan persamaan interpolasi linear

Berikut rumus dalam mendapatkan nilai Densitas pada fluida minyak:

$$\left(\frac{X - X_2}{X_1 - X_2} \right) = \left(\frac{Y - Y_2}{Y_1 - Y_2} \right)$$

$$\left(\frac{31,05^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}{30^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}} \right) = \left(\frac{Y - 1,145 \text{ kg/m}^3}{1,164 \text{ kg/m}^3 - 1,145 \text{ kg/m}^3} \right)$$

$$\left(\frac{-3,95^\circ\text{C}}{-5^\circ\text{C}} \right) = \left(\frac{Y - 1,145 \text{ kg/m}^3}{1,164 \text{ kg/m}^3 - 1,145 \text{ kg/m}^3} \right)$$

$$\left(\frac{-3,95^\circ\text{C}}{-5^\circ\text{C}} \right) = \left(\frac{Y - 1,145 \text{ kg/m}^3}{0,019 \text{ kg/m}^3} \right)$$

$$(0,01501 \text{ kg/m}^3) = (Y - 1,145 \text{ kg/m}^3)$$

$$(0,01501 \text{ kg/m}^3 + 1,145 \text{ kg/m}^3) = Y$$

$$1,16.001 \text{ kg/m}^3 = Y$$

12. Setelah mendapatkan nilai Densitas fluida, kemudian menghitung Kalor spesifik

Temperature	Keterangan	Kalor spesifik fluida dingin	Keterangan
30°C	X ₁	1007 J/kg.°C	Y ₁
31,05°C	X _□	?	Y _□
35°C	X ₂	1007 J/kg.°C	Y ₂

Tabel 8. Data untuk mendapatkan nilai kalor spesifik dengan persamaan interpolasi linear

Berikut rumus dalam mendapatkan nilai kalor spesifik pada fluida udara:

$$\left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) = \left(\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \right)$$

$$\left(\frac{31,05^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{35^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}} \right) = \left(\frac{Y - 1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}}{1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} - 1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}} \right)$$

$$\left(\frac{1,05^\circ\text{C}}{5^\circ\text{C}} \right) = \left(\frac{Y - 1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}}{0 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}} \right)$$

$$1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} = Y$$

13. Tahapan selanjutnya melakukan perhitungan kecepatan rata-rata udara (pada kondisi nilai beban 850 A)

$$V_{u \text{ in}} = 8 \text{ m/s}$$

$$V_{u \text{ out}} = 3,6 \text{ m/s}$$

$$V_{u \text{ rata-rata}} = \frac{V_{u \text{ in}} + V_{u \text{ out}}}{2}$$

$$V_{u \text{ rata-rata}} = \frac{8 \text{ m/s} + 3,6 \text{ m/s}}{2}$$

$$V_{u \text{ rata-rata}} = 5,8 \text{ m/s}$$

14. Setelah mendapatkan nilai kecepatan rata-rata udara maka kita baru bisa melakukan perhitungan laju aliran massa fluida udara (pada kondisi nilai beban 850 A)

$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot V_{u \text{ rata-rata}} \cdot A_{\text{radiator}}$$

$$= 1,16001 \text{ kg/m}^3 \cdot 5,8 \text{ m/s} \cdot 0,10406 \text{ m}^2$$

$$= 0,700122 \text{ kg/s} \text{ atau } 700.122 \times 10^{-7} \text{ kg/s}$$

15. Melakukan perhitungan Laju Kapasitas Kalor (C) kedua fluida (pada kondisi nilai beban 850 A)

Laju kapasitas kalor Minyak Transformator:

$$C_h = \dot{m}_h \cdot C_{ph}$$

$$= 0,04342 \text{ kg/s} \cdot 2012,3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$= 87,374 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}}$$

Laju kapasitas kalor Fluida Udara pada Radiator:

$$C_c = \dot{m}_c \cdot C_{pc}$$

$$= 0,700122 \text{ kg/s} \cdot 1007 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$= 705,023 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}}$$

16. Melakukan perhitungan Efektivitas pendinginan radiator (pada kondisi nilai beban 850 A)[13]

Karena nilai laju kapasitas kalor $C_h < C_c$, maka nilai laju perpindahan panas maksimum yang dapat dilakukan:

$$q_{maks} = C_{min} \cdot (T_{hin} - T_{cin})$$

Disini nilai laju kapasitas kalor Minyak transformator (C_h) sama dengan laju kapasitas kalor minimum (C_{min}).

Sedangkan untuk menghitung nilai laju perpindahan panas aktual heat exchanger, dihitung dengan:

$$q_{aktual} = C_h \cdot (T_{hin} - T_{hout})$$

17. Perhitungan laju perpindahan panas yang sebenarnya dari fluida radiator (pada kondisi beban 850 A)

$$q_{aktual} = C_h \cdot (T_{hin} - T_{hout})$$

$$= 87,374 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \cdot (58^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$= 1136,702 \text{ W}$$

18. Melakukan perhitungan nilai laju perpindahan panas maksimum fluida radiator, dimana $Ch = C_{min}$ (pada kondisi nilai beban 850 A)

$$\begin{aligned} q_{maksimum} &= C_{min} \cdot (T_{hin} - T_{cin}) \\ &= 87,374 \frac{W}{^{\circ}C} \cdot (58^{\circ}C - 30,1^{\circ}C) \\ &= 2.439,53 W \end{aligned}$$

19. Setelah semua nilai didapatkan selanjutnya masuk ke persamaan untuk mencari nilai efektifitas radiator seperti di bawah ini:

Efektifitas radiator (ϵ) (pada kondisi nilai beban 850 A)

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{aktual}}{q_{maks}} \\ &= \frac{1136,702 W}{2.439,53 W} \\ &= 0,4659 \text{ W atau } 46,59\% \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan maka untuk setiap nilai efektifitas radiator dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :

Parameter	Nilai Beban (Ampere)			U nit
	850	1000	1200	
T_{hin}	58	62	65	$^{\circ}C$
T_{hout}	45	47	48	$^{\circ}C$
T_{cin}	30,1	30,4	30,4	$^{\circ}C$
T_{cout}	32	34	34,4	$^{\circ}C$
V_{uin}	8	8	8	$\frac{m}{s}$
V_{uout}	3,6	3,6	3,6	$\frac{m}{s}$
Q_h	0,00005	0,00006	0,000065	$\frac{m^3}{s}$
$T_{h \text{ rata-rata}}$	51,5	54,5	56,5	$^{\circ}C$
$T_{c \text{ rata-rata}}$	31,05	32,2	32,3	$^{\circ}C$
ρ_h	869,042	867,22	866,017	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_c	1,16001	1,1556	1,15488	$\frac{kg}{m^3}$
$\dot{m}_h$	0,04342	0,05203	0,05629	$\frac{kg}{s}$
$\dot{m}_c$	0,700122	0,697435	0,697025	$\frac{kg}{s}$
C_{ph}	2012,3	2024,9	2033,3	$\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}$
C_{pc}	1007	1007	1007	$\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}$
C_h	87,374	105,254	114,413	$\frac{W}{^{\circ}C}$
C_c	705,023	702,317	701,904	$\frac{W}{^{\circ}C}$
ϵ	46,59	47	49	%

Tabel 9. Tabel data keseluruhan ketika beban dinilai 850A,1000A,1200A

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan semua parameter pada kondisi beban keluaran Interbus Transformer dinilai 850 A, 1000A, dan 1200 A. Selanjutnya, data tersebut akan dibandingkan dan dianalisa hubungannya dengan Efektivitas radiator (ϵ). Data tersebut ditampilkan dan dirangkum dalam bentuk Tabel dan Grafik.



Gambar 3. Hubungan nilai arus yang dihasilkan Interbus Transformer dengan Efektivitas radiator

Beban (Ampere)	q_{aktual} (W)	q_{maks} (W)	ϵ (%)
850	1.135,862	2.437,73	46,59%
1000	1.578,81	3.326,026	47%
1200	1.945,021	3.958,689	49%

Tabel 10 . Data hubungan nilai arus yang dihasilkan Interbus Transformer ketika beban Efektivitas radiator dinilai 850A,1000A,1200A

PEMBAHASAN

Data Nilai efektivitas menunjukkan perbandingan antara laju perpindahan panas yang dilakukan (q_{aktual}) dengan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin dapat dilakukan ($q_{maksimum}$). Berdasarkan penelitian ini bahwa pada kondisi beban 850 A nilai laju perpindahan panas aktual (q_{aktual}) yang didapat 1135,862 Watt, nilai laju perpindahan panas maksimum ($q_{maksimum}$) yang didapat 2.437,73 Watt, dan nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 46,59%. Pada kondisi beban 1000 A nilai laju perpindahan panas aktual (q_{aktual}) 1578,81 Watt dan nilai laju perpindahan panas maksimum ($q_{maksimum}$) 3326,026 Watt nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 47%. Pada kondisi beban 1200 A nilai laju perpindahan panas aktual (q_{aktual}) 2094,70 Watt, nilai laju perpindahan panas maksimum ($q_{maksimum}$) 3958,689 Watt dan nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 49%. Sehingga dapat diketahui bahwa nilai

efektivitas dipengaruhi oleh perpindahan panas yang dilakukan (qaktual). Walaupun begitu peningkatan nilai beban pada transformator juga secara tidak langsung menjadi faktor penambah dalam memengaruhi nilai efektivitas, hal itu dikarenakan semakin tinggi beban, semakin besar pula panas yang dihasilkan oleh transformator. Semakin tinggi beban transformator, semakin tinggi pula suhu minyak transformator yang masuk ke radiator. Dan nilai suhu minyak yang masuk ke radiator juga menjadi salah satu faktor pendukung dalam menghasilkan nilai perpindahan panas yang dilakukan (qaktual). Panas yang timbul ini harus dibuang ke lingkungan melalui sistem pendingin transformator, seperti radiator, agar suhu transformator tidak melampaui batas yang diizinkan. Efektivitas pendinginan radiator menunjukkan seberapa baik radiator dapat mentransfer panas dari minyak transformator ke udara sekitar. Semakin tinggi efektivitas, semakin baik kinerja radiator dalam mendinginkan minyak transformator.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini kesimpulannya adalah : Adanya variasi nilai pembebanan pada Interbus Transformer 500 MVA di Gidet Paiton yang semakin tinggi, dari nilai 850 A, 1000 A, dan tertinggi di nilai 1200 A, maka mengakibatkan nilai efektivitas (ϵ) radiator terus mengalami kenaikan mengikuti semakin besarnya nilai pembebanan keluaran dari Interbus Transformer. Dari hasil pengolahan data menunjukkan bahwa nilai efektivitas radiator yang diperoleh pada kondisi beban 850 A sebesar 46,59%, pada kondisi beban 1000 A nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 47%. Dan pada kondisi beban 1200 A nilai efektivitas radiator yang diperoleh sebesar 49%.

Adapun beberapa saran pada penelitian ini, yaitu :

1. Perlu dilakukan kajian maupun penelitian lebih lanjut terkait peningkatan efektivitas radiator agar dapat menjadi pedoman bagi perusahaan, terutama pada Gardu Induk dengan kapasitas daya Transformator yang besar.
2. Perlu dilakukan kajian maupun penelitian terkait efektivitas radiator dengan menggunakan jenis pendingin yang berbeda seperti Minyak Transformator dengan merk dan jenis berbeda dan radiator dengan merk dan jenis berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Haris and G. Supriyanto, "Pengaruh Tekanan Press dan Umur Screw terhadap

Kehilangan Minyak Kelapa Sawit (Oil Losses) di Stasiun Press," vol. 1, Mar. 2023.

- [2] D. J. Kementerian Energi dan Mineral, "RENCANA UMUM KETENAGALISTRIK ANNASIONAL," 2023.
- [3] bisnis.tempo.co, "Menenal PLTU Paiton, Salah Satu Pembangkit Listrik Terbesar di Indonesia," bisnis.tempo.co. Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: https://bisnis.tempo.co/read/1883335/indonesia-masuk-5-besar-negara-yang-catat-penurunan-emisi-energi-2023?tracking_page_direct
- [4] id.made-in-china.com, "Radiator Pendinginan Oli bersirip untuk Transformator Daya Tegangan Tinggi 550kv Peralatan," id.made-in-china.com. Accessed: Jun. 29, 2024. [Online]. Available: https://id.made-in-china.com/co_cztq-electric/product_Finned-Oil-Cooling-Radiator-for-550kv-High-Voltage-Power-Transformer-Apparatus_rsgorengng.html?pv_id=1i1gnfr9u576&faw_id=1i1gng4mv890
- [5] Grow Up Let's, India. *Understanding the Mechanics of Transformer Radiators*, (Jun. 25, 2022). Accessed: Jun. 25, 2024. [Online Video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=zow8Ay5PbCw>
- [6] J. Herawan, "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA DAN SUHU HOTSPOT TERHADAP SUSUT," Dumai, Jan. 2024.
- [7] A. K. Neno, H. Harijanto, and A. Wahid, "Hubungan debit air dan tinggi muka air di sungai lambagu kecamatan tawaeli kota palu," *Jurnal Warta Rimba*, vol. 4, no. 2, 2016.
- [8] J. P. , Hollman, *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Jakarta: Erlangga, 1998.
- [9] S. J. V. and W. J. T. R., "Improved International Formulations for the Viscosity and Thermal Conductivity of Water Substance," 4th ed., vol. 15, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 1986, pp. 1291–1314.
- [10] C. Asdak, "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai," Yogyakarta: Yogyakarta: Gadjah Mada University

- Press, 2002.
- [11] Wahyudi, “Pengaruh Perlakuan Panas Dan Penuaan,” pp. 5–18, 2014.
 - [12] P. Singh and D. Heldman, *Introduction to Food Engineering Fourth Edition*. London: London: Elsevier, 2009.
 - [13] L. Bergman and Dkk. Theodore, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*. United State of America: United State of America: John Wiley & Sons, Inc, 2011.