

## ANALISIS DERATING *CLOSE COOLING WATER* GENERATOR GT 2.2 PT PLN (PERSERO) UPDK BELAWAN

Marcella Perawati Br Ginting<sup>1</sup>, Nabila Dwi Putri<sup>2</sup>, Ir. Burhanuddin Tarigan, M.T.<sup>3</sup>

Teknik Konversi Energi<sup>1,2,3</sup>, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan  
marcellaperawati@students.polmed.ac.id<sup>1</sup>, nabilaputri@students.polmed.ac.id<sup>2</sup>,  
burhanuddintarigan@polmed.ac.id<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan energi mekanik menjadi energi listrik oleh generator akan menimbulkan panas. *Close cooling water* berfungsi menjaga temperatur udara sekitar generator sehingga kumparan tidak melebihi batas yang diperbolehkan dengan cara menjaga temperatur udara. Pada GT 2.2 Tanggal 10 Maret 2022 Kalor yang dilepas pada jam 00.00 sebesar 2241,91 kW dan pada jam 01.00 kalor yang dilepas sebesar 1812,18 kW terdapat selisih hal ini yang akan mengakibatkan kekotoran *tubing cooler* serta kerusakan pada sirip (*pin*) *cooler*. Besarnya laju penguapan pada jam 00.00 adalah 1,65 m<sup>3</sup>/jam dan Besarnya laju penguapan pada jam 01.00 adalah 1,33 m<sup>3</sup>/jam naiknya kinerja pompa, sehingga memaksimalkan laju aliran air yang disuplai ke *cooling*. Sehingga pada daya 139 MW, arus 9,986521 KA, kalor yang dihasilkan 193,5079 Kkal. Sedangkan pada daya 135 MW arus 9,699139 KA kalor yang dihasilkan 181,8498 Kkal. Panas dari kumparan stator (jangkar) nilai temperatur winding terkecil adalah 88,55555 °C dan yang terbesar adalah 94,47778 sehingga *cooler* yang tidak maksimal akan mengakibatkan temperatur pada *winding* generator akan tinggi mencapai nilai alarm, efeknya beban di generator harus diturunkan untuk menurunkan temperatur dan nilai ini masih berada dibawa temperatur maksimal yang diizinkan.

**Kata Kunci** : Generator, Pendingin, Kalor

### PENDAHULUAN

Energi Merupakan kemampuan untuk melakukan kerja. Disebut demikian karena setiap pekerjaan yang dilakukan sekecil dan seringnya apapun tetap membutuhkan energi. Salah satu energi yang sangat dibutuhkan manusia adalah energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan listrik mulai dari daerah perkotaan sampai ke daerah terpencil, maka terus ditingkatkan sarana dan prasarana tenaga listrik. Salah satu pembangkit yang dibangun untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik adalah PLTG atau Pembangkit Listrik Tenaga Gas yang akan menggunakan gas panas guna memutar sudu turbin sehingga dihasilkan energi mekanik yang kemudian energi tersebut akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. Maka dari itu dalam proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik oleh generator akan menimbulkan panas yang disebabkan oleh kerja dari generator seperti rugi-rugi, maka hasil panas yang ditimbulkan ini dapat merugikan sistem generator baik dalam hal kinerja maupun ketahanan dari setiap komponen-komponen generator. Generator pada GT 2.2 yaitu generator harus didinginkan terlebih dahulu dengan cara mengalirkan aliran udara dalam sistem pendingin tertutup serta menukar panas yang sudah terakumulasi dengan sistem pendingin air, sebagai penukar panas udara ataupun air, maka air pendingin dipompa ke pendingin udara serta panas yang dihasilkan akan dibuang ke atmosfer. Dimana pompa air pendingin yang beroperasi secara permanen dan meneruskan air pendingin melalui siklus tertutup, sehingga pada perpipaan pendingin udara untuk menghilangkan panas pada generator.

Adapun permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini, prinsip pada generator serta rugi-rugi di dalamnya, prinsip kerja *Cooling Water* dan komponen-komponennya, dan Faktor Penyebab *Derating* pada *Close Cooling Water* Generator. Serta tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui tentang generator dan rugi-ruginya serta *Cooling Water* dan cara kerjanya, dan mengetahui pengaruh *Cooling Water* terhadap kinerja dari generator.

### TINJAUAN PUSTAKA

*Close cooling water* generator pada gas turbin adalah suatu sistem pendingin tertutup yang digunakan untuk pendingin *Lube Oil* dan udara pendingin generator. *Cooling water* menggunakan air sebagai media pendingin dan disirkulasikan oleh *cooling water pump* (CWP) yang terdiri 2 pompa. *cooling water pump* adalah salah satu komponen dalam proses pendinginan di GT 2.2 karena pompa ini berguna untuk memompakan air ke seluruh komponen dalam proses pendinginan. *Close cooling water* pada gas turbin mempunyai 2 fungsi yaitu:

1. Sebagai pendingin *Lube Oil* dengan menggunakan *heat exchanger*
2. Sebagai pendingin untuk udarapendingin generator.

### Hubungan Daya dan Kerja *Cooling Water*

Medan magnet dari rotor yang berputar mengakibatkan timbulnya GGL bolak-balik pada kumparan stator. Karena pada stator dipasang 3 buah kumparan yang masing-masing sumbu kumparan ditempatkan berjarak  $120^\circ$ , maka timbul GGL bolak-balik 3 fasa yang diperlihatkan bentuk gelombangnya seperti gambar 3. Medan magnet pada rotor ditimbulkan dengan mengalirkan arus searah (DC) pada kumparan rotor. Pada sistem 3 fasa, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang.

$P_{pembangkitan} = P_{pemakaian}$  dan juga pada tegangan yang seimbang. Karena terdapat perbedaan sudut pada masing-masing fasa maka pada sistem listrik 3 fasa terdapat 2 model hubungan yaitu:

1. Hubungan Delta

Pada hubungan delta ketiga fasa saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan 3 fasa. Model hubungan dengan persambungan yang terdiri dari 3 kabel tanpa sambungan netral, dimana ketiganya hubungan delta ketiga fasa saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan 3 fasa. Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fasa, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar *magnitude* yang sama, maka:

$$V_{line} = V_f \quad V_{ab} = V_{bc} = V_{ac} = V_{line}$$

Tetapi harus saluran dan fasa tidak sama dengan hubungan antar kedua arus tersebut adalah:

$$I_{line} = \sqrt{3} I_{fase}$$

2. Hubungan bintang (Y, wye)

Pada hubungan bintang (Y, wye), ujung-ujung tiap fasa dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a-b-c mempunyai besar *magnitude* dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  dan  $V_{ac}$  atau  $V_{an}$ ,  $V_{bn}$  dan  $V_{cn}$  disebut tegangan fasa ke netral atau

tegangan fasa ( $V_f$ ), sedangkan tegangan  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  dan  $V_{ac}$  disebut tegangan fasa ke fasa atau tegangan *line* ( $V_{line}$ ). Hubungan  $V_f$  dengan  $V_{line}$  adalah:

$$V_{line} = \sqrt{3} \times V_f \text{ Volt}$$

Sedangkan arus yang mengalir pada semua fasa memiliki nilai yang sama, pada keadaan beban seimbang, dan arus fasa = arus line

$$I_{line} = I_{fase} \text{ (AMP)} \quad I_{line} = I_a = I_b = I_c$$

Maka daya pada generator dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = 3 V_f \times I_{fase} \times \cos \theta \text{ (Watt)} \quad \text{Atau} \quad \bar{P} = \sqrt{3} \times V_{line} \times I_{line} \times \cos \theta \text{ (Watt)}$$

### Kerja *Cooling Water*

Panas yang berlebihan pada generator perlu dijaga karena jika panas yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan isolasi penghantar atau terbakar dapat menurunkan efisiensi generator tersebut, maka dari itu perlu adanya pendinginan, *Cooling Water* berfungsi sebagai menjaga temperatur udara sekitar generator sehingga kumparan pada generator dapat terjaga temperaturnya atau stabil serta tidak melebihi yang diperbolehkan.

## Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja pendingin dalam beberapa cara:

1. Laju aliran massa air

$$\dot{m} = Q \times \rho_{air} \text{ Dimana: } \dot{m} = \text{Laju aliran massa air (kg/s)}$$

$$Q = \text{Debit aliran air (m}^3/\text{s)}$$

$$\rho_{air} = \text{Massa Jenis Fluida air masuk}$$

2. Kapasitas Pendingin  $q = \dot{m} \times C_{p_{air}} \times \Delta T$

$$q = \dot{m} \times C_{p_{air}} \times (T_{in} - T_{out})$$

$$\text{Dimana: } q = \text{Kapasitas (Kw)}$$

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air (kg/s)}$$

$$C_{p_{air}} = \text{Panas spesifik air (Kj/kg}^\circ\text{C)}$$

$$T_{in} = \text{Temperatur air masuk (}^\circ\text{C)}$$

3. Laju Penguapan air ke udara

Laju penguapan air ke udara adalah dimana jumlah air yang diuapkan untuk proses pendinginan.

$$W_e = 0,00085 \times \dot{m} \times (T_{in} - T_{out})$$

$$\text{Dimana: } W_e = \text{Kapasitas penguapan (m}^3/\text{jam)} \quad \dot{m} = \text{laju sirkulasi (m}^3/\text{jam)}$$

$$T_{in} = \text{Suhur air masuk (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{out} = \text{Suhur air keluar (}^\circ\text{C)}$$

### **Daya dan Energi**

Daya merupakan Laju Energi yang dihantarkan selama melakukan usaha dalam periode waktu tertentu. Satuan SI (Satuan Internasional) untuk Daya yaitu Joule / Sekon (J/s) = Watt (W). Satuan daya lainnya yang sering dipakai yaitu Daya Kuda atau Horse Power (hp), 1 hp = 746 Watt. Daya adalah Besaran Skalar, karena Daya hanya mempunyai nilai, tidak memiliki arah.

$$W = Q \quad W = P \times t$$

$$\text{Dimana: } W = \text{Energi (Joule)} \quad P = \text{Daya (Watt)} \quad T = \text{Waktu (s)}$$

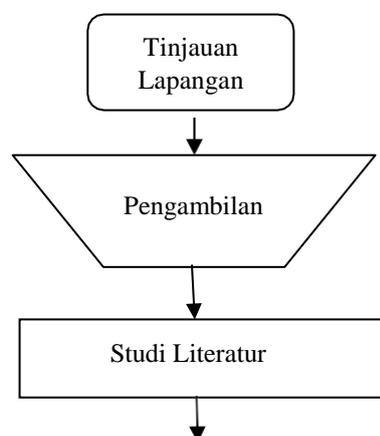
### **Kapasitas Kalor**

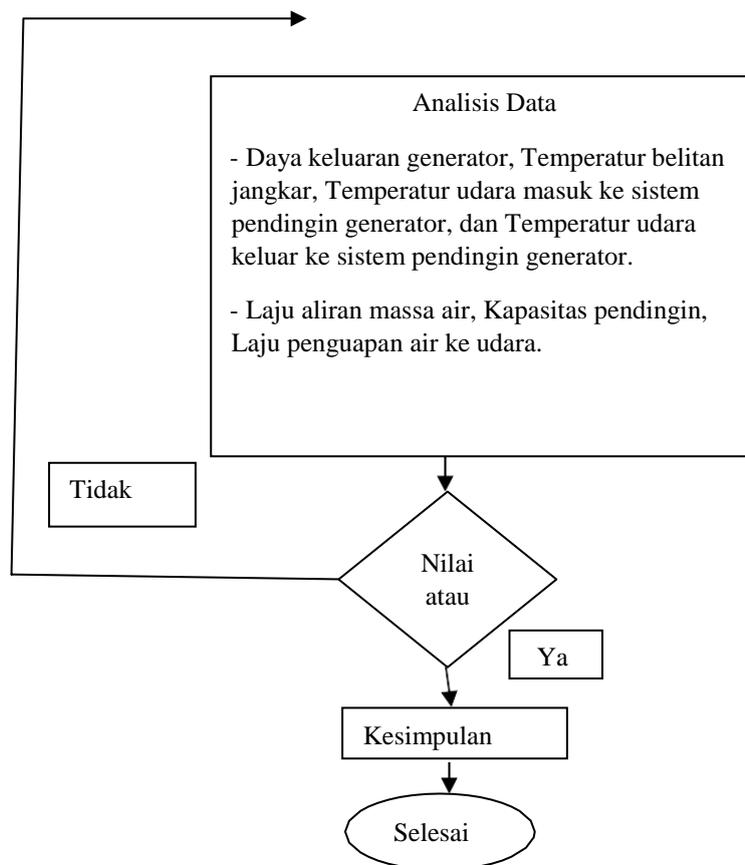
Kapasitas kalor adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan oleh benda rumus kapasitas kalor dapat dituliskan:

$$H = \frac{Q}{\Delta T} \quad H = \frac{m \times c \times \Delta T}{\Delta T} \quad H = m \times c \quad \text{Dengan syarat: } H = \text{Kapasitas Kalor (Joule/}^\circ\text{C)}$$

## **METODE PENELITIAN**

### **Rancangan Penelitian**





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Lokasi Penelitian

Analisis pengaruh *derating* unjuk kerja *close cooling water* generator dan pengaruh dari sistem pendingin terhadap kinerja generator dilaksanakan di PT PLN (Persero) Jl. Pulau Sicang, SEI Mati, Medan Kota, 20252, Belawan Pulau Sinang, Medan Kota Belawan, Sumatera Utara. Layout dari PLN. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 31 Januari 2022.

### Teknik Pengumpulan Data

Adapun teknik pengumpulan data pengolahan data untuk laporan Tugas Akhir ini yang dilakukan oleh penulis untuk mendapatkan data dan informasi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian Lapangan
2. Penelitian Kepustakaan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Laju aliran massa air, kapasitas pendingin, dan laju penguapan udara

##### Data hasil percobaan GT 2.2

Pada bab ini menjelaskan tentang menganalisa Laju aliran massa air, kapasitas pendingin, laju penguapan air ke udara. Kapasitas Pompa :  $300 \text{ m}^3$

Tabel 1. Data Temperatur Air

Jam	Daya	Temperatur Air Masuk Ke Sistem Pendingin Generator	Temperatur Air Keluar Ke Sistem Pendingin Generator
00.00	139	40,1	34,5
01.00	135	39,25	34
02.00	130	38,5	32,7
03.00	126	38	33

Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

04.00	125,3	37	32
05.00	124,8	39	33,5
06.00	130	38,5	32,7
07.00	135	38,5	32,7
08.00	139	40	34,3
09.00	130	38,5	32,7
10.00	126	38	32
11.00	125,3	38,5	32,3
12.00	124,8	37	32,2
13.00	130	39	33,5
14.00	135	40	34,3
15.00	139	40	34,3
16.00	130	39	33,5
17.00	130	38,5	32,7
18.00	126	37	32,2
19.00	125,3	37	32,2
20.00	130	40	34,3
21.00	130	40	34,3
22.00	135	39	33,5
23.00	130	38,5	32,7

**Analisa Kinerja Pendingin**

1. Laju aliran massa air pada jam 00.00  $\dot{m} = Q \times \rho_{air}$

$$\dot{m} = Q \times \rho_{air} \text{ pada } 40,1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{in} = 40,1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 34,5^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho_{air} \text{ pada } 51,15^{\circ}\text{C}$$

$$= 300,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 991,607 \text{ kg/m}^3$$

$$= 297482,1 \text{ kg} / \text{jam}$$

$$= 82,633 \text{ kg} / \text{s}$$

2. Kapasitas Pendingin

$$q = \dot{m} \times C_{pair} \times (T_{in} - T_{out})$$

Dari tabel A-9 sifat – sifat air (terlampir) didapat  $C_{pair}$  pada suhu  $51,15^{\circ}\text{C}$   $C_{pair} = 4,174 \text{ kJ} / \text{kg}^{\circ}\text{C}$ ,Maka:

$$q = 82,633 \text{ kg} / \text{s} \times 4,174 \text{ kJ} / \text{kg}^{\circ}\text{C} \times (41,0 - 34,5)$$

$$= 2241,91 \text{ kJ} / \text{s}$$

$$= 2241,91 \text{ kW}$$

3. Laju Penguapan air ke udara

$$W_e = 0,00085 \times Q \times (T_{in} - T_{out})$$

$$= 0,00085 \times 300,0 \text{ m}^3/\text{jam} \times (41,0 - 34,5)$$

$$= 1,65 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan cara yang sama untuk mencari hasil setiap jam, maka dapat dicari apa yang dibutuhkan setiap jamnya serta hasil dari perhitungan

Tabel 2. Data Hasil Kinerja Pendingin

Jam	Daya	Hasil Kinerja		
		$\dot{m}$	Q	$W_g$
00.00	139	82,633 kg/s	2241,91 kW	1,65 m <sup>3</sup> /jam
01.00	135	82,697 kg/s	1812,18 kW	1,33 m <sup>3</sup> /jam
02.00	130	82,747 kg/s	2003,23 kW	1,47 m <sup>3</sup> /jam
03.00	126	82,749 kg/s	1726,97 kW	1,27 m <sup>3</sup> /jam
04.00	125,3	82,772 kg/s	2722,35 kW	1,27 m <sup>3</sup> /jam
05.00	124,8	82,749 kg/s	1899,66 kW	1,40 m <sup>3</sup> /jam
06.00	130	82,747 kg/s	2003,23 kW	1,47 m <sup>3</sup> /jam
07.00	135	82,747 kg/s	2003,23 kW	1,47 m <sup>3</sup> /jam
08.00	139	82,742 kg/s	1968,58 kW	1,45 m <sup>3</sup> /jam
09.00	130	82,747 kg/s	2003,23 kW	1,47 m <sup>3</sup> /jam
10.00	126	82,749 kg/s	2072,36 kW	1,53 m <sup>3</sup> /jam
11.00	125,3	82,747 kg/s	2141,39 kW	1,58 m <sup>3</sup> /jam
12.00	124,8	82,772 kg/s	2722,35 kW	1,27 m <sup>3</sup> /jam
13.00	130	82,749 kg/s	1899,66 kW	1,40 m <sup>3</sup> /jam
14.00	135	82,742 kg/s	1968,58 kW	1,45 m <sup>3</sup> /jam
15.00	139	82,742 kg/s	1968,58 kW	1,45 m <sup>3</sup> /jam
16.00	130	82,749 kg/s	1899,66 kW	1,40 m <sup>3</sup> /jam
17.00	130	82,747 kg/s	2003,23 kW	1,47 m <sup>3</sup> /jam
18.00	126	82,772 kg/s	2722,35 kW	1,27 m <sup>3</sup> /jam
19.00	125,3	82,772 kg/s	2722,35 kW	1,27 m <sup>3</sup> /jam
20.00	130	82,742 kg/s	1968,58 kW	1,45 m <sup>3</sup> /jam
21.00	130	82,742 kg/s	1968,58 kW	1,45 m <sup>3</sup> /jam
22.00	135	82,749 kg/s	1899,66 kW	1,40 m <sup>3</sup> /jam
23.00	130	82,747 kg/s	2003,23 kW	1,47 m <sup>3</sup> /jam

Daya keluaran generator, temperatur belitan jangkar, temperatur udara masuk ke Sistem Pendingin Generator, dan temperatur udara keluar ke sistem pendingin generator

### Data Hasil Percobaan GT 2.2

Pada bab ini menjelaskan tentang menganalisa daya keluaran generator, Temperatur belitan jangkar, Temperatur udara masuk ke sistem pendingin generator, dan Temperatur udara keluar ke sistem pendingin generator.

Generator Type : Siemens TLRI 108/36

Voltage Volt : 8,2 Kv Power Factor : 0,98

Inner Connection of stator : YY Besar tahanan dari kumparan jangkar 20°C

Tabel 3. Nilai tahanan jangkar

Winding Resistance at 20°C	
Stator Winding	0,0005829 Ω
Between	0,0005821 Ω
Terminals	0,0005825 Ω

Tabel4. Data Loog Sheet Harian PT. PLN (Persero) UPDK Belawan 10 Maret 2022 GT 2.2

Jam	Temperatur Belitan Jangkar Daya										Temperatur Winding (°C)	Temperatur Udara Masuk Ke Sistem Pendingin Generator				Temperatur Udara Masuk Ke Sistem Pendingin Generator
00.00	139	95,3	94,6	95,9	94,2	93	93,9	95,2	94,4	93,8	94,47778	51,3	51,2	51,3	50,8	80,8
01.00	135	94	94	93	93	94	92	94	93	92,2	93,24444	51	51,1	51	50	80,5
02.00	130	94	94	93	93	93	92	93	93	93	93,11111	51,2	51	50	49	80
03.00	126	90	88	85	89	90	86	90	89	90	88,55555	49	50	50	48	78
04.00	125,3	89	87	85	89	89	85	89	88	89	87,77778	49	49	47	48	76
05.00	124,8	90	89	91	91	90	90	91	90	91	90,33333	47	45	47	46	80,6
06.00	130	94	94	93	93	94	92	94	93	92,2	93,24444	51,2	51	50	48	80,5
07.00	135	95	94	95	94	93	93	94	94	93	93,88889	51,3	51	51	50	80,7
08.00	139	92	90	91	91	90	89	90	90	91	90,44444	51,3	50	51	50	80
09.00	130	90	88	85	89	90	86	90	89	90	88,55555	51,2	51	50	48	80
10.00	126	89	87	85	99	89	85	89	88	89	88,88889	49	50	50	48	78
11.00	125,3	88	87	85	88	87	88	86	88	88	87,22222	49	48	47	48	77
12.00	124,8	90	89	90	90	89	90	90	90	90	89,77778	47	45	47	46	80

Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

13.00	130	94	93	93	92	94	92	93	93	92	92,88889	51,2	51	50	49	80
14.00	135	94	94	93	93	94	92	94	93	92,2	93,24444	51	51	50	80,7	80
15.00	139	92	90	91	90	90	89	89	90	91	90,22222	51,3	50	51	50	80
16.00	130	92	90	91	90	90	89	89	90	91	90,22222	51,2	50	50	49	80
17.00	130	92	90	91	90	90	89	89	90	91	90,22222	51,2	51	50	48	80
18.00	126	89	87	85	99	89	85	89	88	89	88,88889	49	50	50	48	78
19.00	125.3	89	87	85	85	86	85	88	88	89	86,88889	49	48	47	48	77
20.00	130	90	88	85	89	90	86	90	89	90	88,55555	51,2	51	50	48	80
21.00	130	94	94	93	93	94	92	94	93	92,2	93,24444	51,2	51	50	48	80
22.00	135	94	94	93	93	94	92	94	93	92,2	93,24444	51	51	50	80,7	80
23.00	130	92	90	91	90	90	89	89	90	91	90,22222	51,2	51	50	48	80

Sumber: PT PLN (Persero) UPDK Belawan

### Analisa Pembahasan Perhitungan Daya

Menjelaskan tentang menganalisa perhitungan daya keluaran generator, pada temperatur belitan jangkar, serta pada temperatur pendinginan udara masuk ke sistem pendingin generator dan udara keluar ke sistem pendingin generator.

Dari persamaan 3.3 dapat dicari nilai arus yang dihasilkan kumparan jangkar setiap saat, contoh pada pukul

00.0 WIB yaitu:

$$P = \sqrt{3} \times V_{line} \times I_{line} \times \cos \theta \text{ (Persamaan 2.5)}$$

$$I_a = \frac{139 \times 10^6}{13918,76029}$$

$$I_a = 9,986521 \text{ KA}$$

Rugi Tahanan jangkar pada stator (Persamaan 2.7)

$$P_{cu \text{ stator}} = 3 \times I_a^2 \times R_a \text{ (Generator 3 fasa)}$$

Nilai  $R_a$

$$\text{pada } 20^\circ\text{C} = \frac{0,0005829\Omega + 0,0005821\Omega + 0,0005825\Omega}{3}$$

$$R_{20^\circ\text{C}} = 0,000583 \Omega$$

$$P_{cu \text{ stator}} = 3 \times I_a^2 \times R_{20^\circ\text{C}}$$

$$P_{cu \text{ stator}} = 3 \times (9,986521 \text{ KA})^2 \times 0,000583 \Omega$$

$$P_{cu \text{ stator}} = 0,174429 \text{ KW}$$

Energi panas yang dihasilkan oleh kumparan jangkar (Pada temperature  $20^\circ\text{C}$ ):  $Q = 3 \times I_a^2 R_{20^\circ\text{C}} \times t$

$$Q = P_{cu \text{ stator}} \times t \text{ (Persamaan 2.)}$$

$$Q = 0,174429 \text{ KW} \times 3600 \text{ detik (Selama 1 jam)} Q = 627,9444$$

$$1 \text{ Joule} = 0,2388 \text{ kalori}$$

$$Q = 627,9444 \times 0,2388$$

$$Q = 149,9531$$

Nilai resistansi pada temperatur winding pada jam 00.00:

$$R_a = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \text{ (Persamaan 2.9)}$$

$$R_a = 0,000583 \Omega \times (1 + 0,0039 \text{ 1K} \times (T_{winding} 273 \text{ (K)} - T_{20^\circ\text{C}} + 273))$$

$$R_a = 0,000583 \Omega \times (1 + 0,0039 \times (94,47778 + 273) - (20 + 273))$$

$$R_a = 0,000583 \Omega \times (1 + 0,0039 (367,478 - 293))$$

$$R_a = 0,00075234 \Omega$$

Maka dapat dicari nilai rugi tembaga pada kumparan jangkar:

$$P_{cu \text{ stator}} = 3 \times I_a^2 \times R_a$$

$$P_{cu \text{ stator}} = 3 \times (9,986521 \text{ KA}^2) \times 0,000 \text{ 75234 } \Omega$$

$$P_{cu \text{ stator}} = 0,225093 \text{ KW}$$

Energi panas yang dihasilkan oleh kumparan jangkar:  $Q = 3 \times I_a^2 R_a \times t$

$$Q = P_{cu \text{ stator}} \times t$$

$$Q = 0,225093 \text{ KW} \times 3600 \text{ detik (Selama 1 jam)} Q = 810,3348 \text{ KJ}$$

$$1 \text{ Joule} = 0,2388 \text{ kalori}$$

$$Q = 810,3348 \text{ KJ} \times 0,2388 \text{ kalori} Q = 193,5079 \text{ Kkal}$$

Dengan cara yang sama, maka dapat dicari apa yang dibutuhkan setiap jamnya serta hasil dari perhitungandapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Data Hasil Perhitungan Nilai Kalor Setiap Jam

Jam	Daya(MW)	Arus (KA)	P <sub>cu stator</sub> (KW)	Q (Kkal)	Temperatur Winding (°C)
00.00	139	9,986521	0,225093	193,5079	94,47778
01.00	135	9,699139	0,211532	181,8498	93,24444
02.00	130	9,339912	0,194266	167,0066	93,11111
03.00	126	9,052530	0,181654	156,1643	88,55555
04.00	125,3	9,002238	0,179206	154,0598	87,77778
05.00	124,8	8,966316	0,17936	154,2438	90,33333
06.00	130	9,339912	0,196153	168,6288	93,24444
07.00	135	9,699139	0,211947	182,2065	93,88889
08.00	139	9,986521	0,22234	191,1412	90,44444
09.00	130	9,339912	0,193371	166,2371	88,55555
10.00	126	9,052530	0,181679	156,1858	88,88889
11.00	125,3	9,002238	0,17889	153,7881	87,22222
12.00	124,8	8,966316	0,178874	153,7744	89,77778
13.00	130	9,339912	0,211303	181,6529	92,88889
14.00	135	9,699139	0,211532	181,8498	93,24444
15.00	139	9,986521	0,222197	191,0183	90,22222
16.00	130	9,339912	0,194355	167,0831	90,22222
17.00	130	9,339912	0,194355	167,0831	90,22222
18.00	126	9,052530	0,181679	156,1858	88,88889
19.00	125,3	9,002238	0,178713	153,6359	86,88889
20.00	130	9,339912	0,193371	166,2371	88,55555
21.00	130	9,339912	0,196153	168,6288	93,24444
22.00	135	9,699139	0,211532	181,8498	93,24444
23.00	130	9,339912	0,194355	167,0831	90,22222

## SIMPULAN

Kalor yang dilepas air ke udara atau kapasitas pendingin pada jam 00.00 hasil kinerja kapasitas pendingin (q) adalah 2241,91 kW dan pada kapasitas pendingin pada jam 01.00 hasil kinerja kapasitas pendingin (q) adalah 1812,18 kW, terdapat selisih hal ini yang akan mengakibatkan kekotoran *tubing cooler* serta kerusakan pada sirip (*pin*) *cooler*. Besarnya laju penguapan air ke udara pada jam 00.00 adalah  $1,65 \text{ m}^3/\text{jam}$  dan Besarnya laju penguapan air ke udara pada jam 01.00 adalah  $1,33 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Terdapat selisih hal ini disebabkan salah satunya naiknya kinerja pompa, sehingga memaksimalkan laju aliran air yang disuplai ke *cooling*. Dari perhitungan pada daya 139 MW, arus 9,986521 KA, kalor yang dihasilkan 193,5079 Kkal. Sedangkan pada daya 135 MW, arus 9,699139 KA, kalor yang dihasilkan 181, 8498 Kkal. Panas dari kumparan stator yang terkecil pada daya 125,3 jam 19.00 adalah 86,88889 yang terbesar pada daya 139 jam 00.00 adalah 94,4778. Nilai ini masih di bawah temperatur maksimal yang diizinkan.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima Kasih Kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Reka, Wirasta Barus. 2018. Analisa Pengaruh Cooling Water. Terhadap Kinerja Generator pada GT 2.2 di PT PLN (PERSERO) Sektor Pembangkit Belawan.

Samola, G. J., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2022). Analisa Sistem Pendingin Berdasarkan Besar Daya Lisrik Yang Di Bangkikan Pada PLTPLahendong.

Septiyan, Rahmat, and Bambang Sugeng. 2019. Analisa Hilang Daya. Pada Generator Sinkron 3 Fasa (6, 6 KV) 11 MVA TYPE 1DT4038-3EE02-Z. Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA).

Siemens, Generator Forced Cooling Sistem, PLTGU PT PLN(Persero) Sektor Pembangkit Belawan., 2018 Anam, Chairul. Studi Pola Sebaran Panas Air Pendingin di PT. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkit Gresik (PT. PJB UP Gresik). Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.

Ulan Sari, N.M.P., Adnyana, I.Y. and Oktaviana Putri, T.W., 2020. *Pengaruh Variasi Beban Terhadap Perubahan Temperature Generator Winding Pada Generator Sinkron di PT Indonesia Power Suralaya PGU Unit 5* (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).