Analysis of the Cause of Overtemperature in Generator Windings Due to Overspeed at PT Mega Surya Eratama 2 X 7.5 MW
Analisis Penyebab Over Temperatur Pada Winding Generator Diakibatkan Overspeed Di PT Mega Surya Eratama 2 X 7.5 MW

Muhammad Yulias Fetrik[1)], Jamaluddin[*,2)]

[1),] Prodi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
[2)] Prodi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
*Email Penulis Korespondensi: jamaaluddin@umsida.ac.id

Abstract. *One of the power plants that supplies electricity is PT. MEGA SURYA ERATAMA PGU (Power Generation Unit) as a power plant as an electricity supply in a company consisting of two generating units that have the same capacity, each with a capacity of ± 7.5 MW so that the electricity capacity generated by the PLTU. The electricity generated with large power is then distributed through transmission lines and distributed to the company itself to reduce costs for PLN usage, Active power (MW) and Reactive power (KVAR) supplied by each PLTU Unit of PT MEGA SURYA ERATAMA experience changes at any time depending on the load requirements that vary in nature. Changes in the increase in the temperature of the PT MEGA SURYA ERATAMA generator winding caused by the influence of active power (MW) of 97.1% and reactive power (KVAR) of 58.2%. 2) PT MEGA SURYA ERATAMA generator operating at safe limits (generator capability curve) for a maximum stator temperature of 68.4℃ and for a maximum rotor temperature of 57.5℃, class F winding insulation of 155℃ for an active power limit of 7.5 MW and a reactive power of 3136 kVAR. PT MEGA SURYA ERATAMA copper losses (Pcu) were obtained at 0.4816% for a stator winding temperature increase of 1.85℃ when the active power (MW) condition was the same, while a loss of 5.9536% was obtained for a stator winding temperature increase of 15.1% when ΔT was maximum.*

Keywords - *Winding generator, Overspeed Generator, Active Power, Reactive Power, Rotor and Stator Temperature.*

Abstrak. *Salah satu pembangkit yang memasok listrik adalah PT. MEGA SURYA ERATAMA PGU (Power Generation Unit) sebagai pembangkit listrik sebagai pasokan listrik disuatu perusahaan yang terdiri dari dua unit pembangkitan yang memiliki kapasitas yang sama- sama masing-masing berkapasitas ±7.5 MW sehingga kapasitas listrik yang dibangkitkan PLTU. Listrik yang dibangkitkan dengan daya yang besar tersebut kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dan didistribusikan ke perusahaan sendiri untuk mengurangi biaya terhadap pemakaian PLN, Daya aktif (MW) dan daya Reaktif (KVAR) yang disuplai oleh tiap Unit PLTU PT MEGA SURYA ERATAMA mengalami perubahan sewaktu-waktu tergantung kebutuhan beban yang sifatnya bervariasi. Perubahan kenaikan temperatur winding generator PT MEGA SURYA ERATAMA yang disebabkan pengaruh daya aktif (MW) sebesar 97,1% dan daya reaktif (KVAR) sebesar 58,2%. 2) Generator PT MEGA SURYA ERATAMA yang beroperasi pada batas aman (generator capability curve) untuk temperatur maksimum stator sebesar 68.4℃ dan untuk temperatur maksimum rotor sebesar 57.5℃ isolasi belitan kelas F sebesar 155℃ untuk batas daya aktif sebesar 7.5 MW dan daya reaktif sebesar 3136 kVAR. Rugi-rugi tembaga (Pcu)PT MEGA SURYA ERATAMA diperoleh 0,4816% untuk kenaikan temperatur stator winding sebesar 1,85℃ saat kondisi daya aktif (MW) sama sedangkan diperoleh rugi 5,9536% untuk kenaikan temperatur stator winding sebesar 15,1% saat ΔT maksimum.*

Kata Kunci - *Winding generator,Overspeed Generator,Daya Aktif, Daya reaktif,Temperatur Rotor dan Stator.*

I. PENDAHULUAN

Dalam bentuk perusahaan, kebutuhan akan energi listrik merupakan hal yang sangat penting dan tidak dapat dipisahkan dari kegiatan operasional. Oleh karena itu, PT Mega Surya Eratama (PGU) berperan sebagai pembangkit listrik yang memasok kebutuhan listrik secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi perusahaan[1]. Mengingat pentingnya kontinuitas pasokan energi listrik, maka beban generator dan tekanan turbin (pressure turbine) harus selalu dijaga agar terhindar dari gangguan yang dapat menghambat penyaluran energi listrik kepada konsumen. Dalam menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan, daya yang dibebankan tidak boleh melebihi kapasitas generator karena dapat menyebabkan overload pada generator sehingga temperatur generator meningkat secara tiba-tiba akibat beban yang melebihi kapasitas kerja generator[2].

Salah satu pembangkit yang memasok listrik di perusahaan tersebut adalah PT Mega Surya Eratama sebagai unit pembangkit listrik yang terdiri atas dua unit pembangkitan dengan kapasitas yang sama, yaitu masing-masing sebesar ±7,5 MW. Energi listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi dan didistribusikan untuk kebutuhan internal perusahaan guna mengurangi biaya penggunaan listrik dari PLN[3]. Oleh karena itu, PT Mega

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Surya membangun Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk memenuhi kebutuhan konsumsi listrik sendiri. Selain menghasilkan energi listrik, sisa ekstraksi uap (exhaust steam) juga dialirkan melalui pipa-pipa besar untuk digunakan dalam proses peleburan kertas. Di Indonesia terdapat berbagai jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi berbeda-beda. Pembangkit listrik milik PT Mega Surya Eratama termasuk dalam jenis Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan uap kering hasil pembakaran batu bara di dalam boiler untuk memutar turbin yang terkopel dengan generator sehingga mampu menghasilkan energi listrik[4].

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memiliki beberapa komponen penting, salah satunya adalah generator yang terkopel dengan turbin. Turbin berfungsi memutar generator melalui gaya putar yang dihasilkan dari uap kering hasil pembakaran batu bara di dalam boiler[5]. Generator merupakan salah satu komponen vital dalam sistem pembangkitan listrik karena dioperasikan secara terus-menerus untuk memenuhi kebutuhan beban yang selalu berubah sesuai karakteristik pemakaian, baik beban kapasitif maupun induktif. Oleh sebab itu, setiap unit generator, khususnya unit 2, harus selalu siap menghadapi perubahan beban sewaktu-waktu sesuai kebutuhan pelanggan[6].

Kebutuhan pelanggan terhadap energi listrik tidak dapat dengan mudah diatur untuk ditambah atau dikurangi, sehingga pihak pemasok listrik harus selalu berupaya menyediakan daya sesuai kebutuhan pelanggan. Variasi kebutuhan listrik, baik yang bersifat resistif, induktif, maupun kapasitif pada sektor rumah tangga, industri, dan umum, akan diikuti oleh suplai daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR) dari generator [7]. Arus beban yang mengalir akibat kebutuhan tersebut akan memengaruhi temperatur belitan generator (generator winding), baik pada stator winding maupun rotor winding [8]. Kondisi ini dapat terjadi akibat beban yang melebihi kapasitas generator atau karena AVR (Automatic Voltage Regulator) tidak bekerja dengan baik. Gangguan pada AVR dapat menyebabkan perubahan signifikan pada kondisi winding dan stator generator. Oleh karena itu, kondisi AVR dan SCR harus selalu dipastikan bekerja secara normal karena keduanya sangat berpengaruh terhadap rugi-rugi tembaga yang timbul. Jika panas yang dihasilkan dibiarkan terus meningkat, maka generator dapat mengalami overheat[9].

Panas berlebih pada generator harus dihindari karena dapat mengurangi umur isolasi belitan, menyebabkan kegagalan isolasi, serta merusak rotor dan stator generator[10]. Kondisi overheating juga dapat mengganggu kinerja generator dan memicu sistem proteksi bekerja secara otomatis. Apabila suhu generator melebihi batas maksimum, yaitu lebih dari 70°C, maka sistem proteksi akan mendeteksi kondisi tersebut dan menyebabkan generator mengalami trip. Oleh karena itu, variasi beban pada generator perlu diantisipasi dengan baik agar umur pakai belitan generator dapat tetap terjaga dan sistem pembangkitan dapat beroperasi secara optimal[11].

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis statistik untuk mengkaji pengaruh variasi beban generator terhadap temperatur generator *winding* pada PT Mega Surya Eratama. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, *logsheet* harian, manual *book,* dan data *record* generator unit 1 yang berlokasi di Mojokerto, Jawa Timur. Data yang dikumpulkan meliputi daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), putaran generator (RPM), temperatur stator dan rotor *winding,* serta kurva kapabilitas generator. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui metode pustaka, observasi, dataset statistik dari *control room* (DCS), dan wawancara dengan tenaga ahli kelistrikan PLTU[12]. Pengambilan data dilakukan setiap dua jam selama periode 17–20 November 2025. Generator sinkron yang digunakan memiliki kapasitas 7,5 MW dengan tegangan 6,3 kV dan kecepatan 3000 rpm. Analisis data dilakukan menggunakan regresi linier sederhana untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas, yaitu daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR), terhadap variabel terikat berupa temperatur generator *winding.* Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kondisi operasi generator berdasarkan kurva kapabilitas generator serta menentukan pengaruh kenaikan temperatur terhadap performa dan keamanan operasi generator di PLTU[13].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Variasi Beban MW dan KVAR PT MEGA SURYA ERATAMA

Daya aktif (MW) dan daya Reaktif (KVAR) yang disuplai oleh tiap Unit PLTU PT MEGA SURYA ERATAMA mengalami perubahan sewaktu-waktu tergantung kebutuhan beban yang sifatnya bervariasi. Berikut merupakan variasi kebutuhan beban terhadap MW dan MVAR dari PT MEGA SURYA ERATAMA pada hari senin Januari 2026:

Table 1. Data MW dan KVAR pada Tanggal 05 Januari 2026

NO	JAM	MW	KVAR	NO	JAM	MW	KVAR
1	00.00	7.6	2961	20	09.30	7.5	2879
2	00.30	7.5	2851	21	10.00	7.8	3011
3	01.00	7.8	3015	22	10.30	7.7	2989
4	01.30	8	3145	23	11.00	7.9	3069

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

5	02.00	7.7	2989	24	11.30	7.5	2986
6	02.30	7.9	3120	25	12.00	6.9	2758
7	03.00	7.5	2855	26	12.30	7.1	2798
8	03.30	7.8	3012	27	13.00	7.4	2876
9	04.00	7.4	2845	28	13.30	7.5	2899
10	04.30	7.3	2810	29	14.00	7.7	2983
11	05.00	7.6	2954	30	14.30	7.4	2834
12	05.30	7.8	2998	31	15.00	7.6	2890
13	06.00	7.9	3102	32	15.30	7.8	2985
14	06.30	8.1	3245	33	16.00	7.5	2876
15	07.00	8.0	3145	34	16.30	7.5	2867
16	07.30	7.7	2987	35	17.00	7.8	2998
17	08.00	7.5	2857	36	17.30	7.6	2916
18	08.30	7.4	2845	37	18.00	7.7	2917
19	09.00	7.3	2820	38	18.30	7.8	2987
20	19.00	7.7	2987	44	21.30	7.3	2874
21	19.30	7.6	2957	45	22.00	7.4	2877
22	20.00	7.3	2875	46	22.30	7.7	2931
23	20.30	7.5	2956	47	23.00	7.5	2956
24	21.00	7.2	2756	48	23.30	7.6	2967

Table 2. Data MW dan KVAR pada tanggal 06 Jnuari 2026

NO	JAM	MW	KVAR	NO	JAM	MW	KVAR
1	00.00	7.4	2890	25	12.00	6.9	2789
2	00.30	7.5	2920	26	12.30	7.1	2800
3	01.00	7.8	3019	27	12.30	7.4	2789
4	01.30	7.6	2968	28	13.00	7.5	2807
5	02.00	7.4	2898	29	13.30	7.7	2890
6	02.30	7.9	3098	30	14.00	7.5	2876
7	03.00	7.5	2937	31	14.30	7.3	2870
8	03.30	7.5	2939	32	15.00	7.4	2897
9	04.00	7.4	2910	33	15.30	7.8	2930
10	04.30	7.6	2958	34	16.00	7.4	2871
11	05.00	7.4	2947	35	16.30	7.6	2899
12	05.30	7.7	2989	36	17.00	7.5	2878
13	06.00	7.6	2988	37	17.30	7.9	3108
14	06.30	7.8	3045	38	18.00	7.6	2989
15	07.00	7.4	2978	39	18.30	7.0	2879
16	07.30	7.5	2987	40	19.00	7.1	2877
17	08.00	7.7	2986	41	19.30	7.3	2891
18	08.30	7.8	2986	42	20.00	7.7	2895
19	09.00	7.9	2985	43	20.30	7.6	2895
20	09.30	7.5	2967	44	21.30	7.4	2978
21	10.00	7.4	2879	45	22.00	7.5	2896
22	10.30	7.5	2990	46	22.30	7.3	2895
23	11.00	7.8	2987	47	23.00	7.2	2897
24	11.30	7.6	2879	48	23.30	7.5	2896

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

Table 3. Data MW dan KVAR pada Tanggal 07 Januari 2026.

NO	JAM	MW	KVAR	NO	JAM	MW	KVAR
1	00.00	7.0	2756	25	12.00	7.5	2889
2	00.30	7.2	2720	26	12.30	7.4	2700
3	01.00	7.5	2919	27	12.30	7.3	2889
4	01.30	7.7	2868	28	13.00	7.2	2707
5	02.00	7.6	2898	29	13.30	7.3	2890
6	02.30	7.5	2898	30	14.00	7.5	2876
7	03.00	7.6	2837	31	14.30	7.3	2770
8	03.30	7.8	2839	32	15.00	7.6	2897
9	04.00	7.4	2810	33	15.30	7.7	2930
10	04.30	7.5	2858	34	16.00	7.2	2771
11	05.00	7.7	2847	35	16.30	7.4	2999
12	05.30	7.6	2989	36	17.00	7.1	2878
13	06.00	7.4	2888	37	17.30	7.4	2908
14	06.30	7.8	2945	38	18.00	7.5	2989
15	07.00	7.9	3078	39	18.30	7.3	2879
16	07.30	7.6	2987	40	19.00	7.6	2877
17	08.00	7.7	2986	41	19.30	7.7	2891
18	08.30	7.8	2886	42	20.00	7.5	2895
19	09.00	7.6	2985	43	20.30	7.4	2895
20	09.30	7.8	2967	44	21.30	7.3	2978
21	10.00	7.7	2979	45	22.00	7.2	2896
22	10.30	7.8	2890	46	22.30	7.3	2895
23	11.00	7.6	2987	47	23.00	7.4	2897
24	11.30	7.5	2879	48	23.30	7.5	2896

Table 4. Data MW dan KVAR pada Tanggal 08 Januari 2026.

NO	JAM	MW	KVAR	NO	JAM	MW	KVAR
1	00.00	7.6	2890	25	12.00	7.5	2896
2	00.30	7.6	2897	26	12.30	7.7	2998
3	01.00	7.4	2789	27	12.30	7.5	2906
4	01.30	7.6	2890	28	13.00	7.7	2996
5	02.00	7.4	2898	29	13.30	7.4	2898
6	02.30	7.3	2898	30	14.00	7.6	2977
7	03.00	7.7	2900	31	14.30	7.4	2976
8	03.30	7.7	2910	32	15.00	7.6	2997
9	04.00	7.5	2890	33	15.30	7.8	2938
10	04.30	7.4	2890	34	16.00	7.5	2977
11	05.00	7.5	2890	35	16.30	7.3	2795
12	05.30	7.7	2990	36	17.00	7.5	2977
13	06.00	7.8	2990	37	17.30	7.5	2808
14	06.30	7.6	2967	38	18.00	7.8	2987
15	07.00	7.4	2887	39	18.30	7.5	2878
16	07.30	7.5	2879	40	19.00	7.8	2977
17	08.00	7.3	2875	41	19.30	7.3	2898
18	08.30	7.6	2890	42	20.00	7.7	2997
19	09.00	7.5	2897	43	20.30	7.5	2898
20	09.30	7.4	2878	44	21.30	7.8	2977
21	10.00	7.6	2890	45	22.00	7.8	2996

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

22	10.30	7.7	2876	46	22.30	7.6	2895
23	11.00	7.8	2867	47	23.00	7.4	2895
24	11.30	7.8	2890	48	23.30	7.3	2895

Berdasarkan data pada tabel diatas ditunjukan bahwa data beban MW dan beban KVAR yang disuplai oleh PT MEGA SURYA ERATAMA cenderung bersifat naik turun setiap hari.

Data Beban Terhadap Winding generator PT Mega Surya Eratama

Temperatur winding generator atau temperatur stator *winding* maupun temperatur winding rotor mengalami perubahan sewaktu-waktu. Perubahan temperatur bisa naik ataupun turun, faktor-faktor penyebab terjadinya hal tersebut dianalisa berdasarkan korelasi antara daya nyata (MW) terhadap temperatur stator *winding*, korelasi antara daya reaktif (KVAR) terhadap temperatur rotor *winding*.

Table 5. Korelasi Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (KVAR) dengan Temperatur Generator Winding pada Tanggal 05 Januari 2026

JAM	MW	KVAR	ARUS EXSITASI	TEGANGAN EXSITASI	TEMEPERATUR STATOT	TEMPERATUR ROTOR
00.00	7.5	2950	200	100	65	50.1
02.00	7.8	3102	206	105	68	52.5
04.00	7.6	2989	204	104	66	51.2
06.00	7.8	3012	205	102	68.6	53.1
08.00	7.6	2978	204	102	65.5	53.1
10.00	7.4	2920	198	99	65.4	51.1
12.00	7.9	3021	208	105	68.9	54.5
14.00	7.8	3016	206	106	67.6	53.6
16.00	7.5	2956	201	100	65.7	51.4
18.00	7.4	2950	199	101	64.3	52.2
20.00	7.7	2989	204	102	66.5	54.6
22.00	7.9	3021	206	103	68.7	57.8

Table 6. Korelasi Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (KVAR) dengan Temperatur Generator Winding pada Tanggal 06 Januari 2026

JAM	MW	KVAR	ARUS EXSITASI	TEGANGAN EXSITASI	TEMEPERATUR STATOT	TEMPERATUR ROTOR
00.00	7.5	2987	201	100	65.5	50
02.00	7.8	3098	208	103	67.4	52.1
04.00	7.6	3013	205	102	66.4	51.1
06.00	7.8	3089	208	102	67.1	54.3
08.00	7.6	2998	201	104	65.9	52.3
10.00	7.4	2934	204	107	65.1	52.1
12.00	7.9	3018	203	108	68.4	58.1
14.00	7.8	3012	204	104	68.7	57,8
16.00	7.5	2976	201	103	65.1	51.0
18.00	7.4	2921	200	102	65.3	50.3
20.00	7.7	2930	205	107	65.2	53.4
22.00	7.9	3017	209	109	68.9	57.1

Table 7. Korelasi Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (KVAR) dengan Temperatur Generator Winding pada Tanggal 07 Januari 2026

JAM	MW	KVAR	ARUS EXSITASI	TEGANGAN EXSITASI	TEMEPERATUR STATOT	TEMPERATUR ROTOR
00.00	7.5	2939	203	102	65.2	55.4
02.00	7.8	3012	208	107	67.3	55.6
04.00	7.6	2912	204	103	66.2	55.3

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

06.00	7.8	2998	207	106	68.4	57.6
08.00	7.6	2945	205	105	66.5	56.8
10.00	7.4	2965	203	104	64.7	53.5
12.00	7.9	3024	208	107	68.9	57.6
14.00	7.8	3012	207	106	68.1	57.8
16.00	7.5	2987	205	105	65.4	54.3
18.00	7.4	2978	203	102	64.3	53.5
20.00	7.7	2984	206	105	67.4	56.3
22.00	7.9	3115	208	106	68.9	57.5

Table 8. Korelasi Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (KVAR) dengan Temperatur Generator Winding pada Tanggal 08 Januari 2026

JAM	MW	KVAR	ARUS EXSITASI	TEGANGAN EXSITASI	TEMEPERATUR STATOT	TEMPERATUR ROTOR
00.00	7.5	2987	205	104	65.4	55.1
02.00	7.8	3012	208	107	68.8	58.1
04.00	7.6	2978	206	105	66.8	56.6
06.00	7.8	3012	207	105	68.9	57.9
08.00	7.6	2989	206	106	67.7	56.8
10.00	7.4	2898	204	103	66.8	57.5
12.00	7.9	3019	208	107	66.8	56.4
14.00	7.8	3011	209	108	68.7	56.7
16.00	7.5	2989	204	103	65	56.8
18.00	7.4	2986	203	102	64.3	56.8
20.00	7.7	2978	206	105	67.5	57.8
22.00	7.9	3087	208	107	68.9	58.9

Perhitungan Persentase Rugi-Rugi Tembaga (%P_{cu}) Akibat Kenaikan Temperatur Generator *Winding PT Mega Surya Eratama*

Perhitungan Persentase Rugi-rugi Tembaga (%P_{cu}) Akibat Kenaikan Temperatur Stator Winding PT Mega Surya Eratama.

Perhitungan rugi-rugi tembaga disebabkan akibat adanya pengaruh dari kenaikan temperatur stator *winding*. Untuk mengetahui rugi-rugi tembaga yang dihasilkan yang dinyatakan dalam persentase (%), dapat dihitung dengan menggunakan acuan kondisi perubahan temperatur sebesar ΔT untuk beban (MW) sama dan perubahan temperatur sebesar ΔT maksimum untuk beban (MW) secara keseluruhan. Perhitungan rugi-rugi tembaga (%P_{cu}) menggunakan acuan kondisi perubahan temperatur sebesar ΔT untuk beban (MW) sama dapat dihitung sebagai berikut:

Table 9. Kenaikan temperatur pada perubahan beban

Daya Aktif (MW)	Temperatur Stator Winding (°C)
8.1	65.4
7.9	64.5

1) Perhitungan hambatan stator *winding* (R) saat temperatur 20°C sebagai berikut:

$$R_{20°C} = \rho_{20°C} \frac{L}{A}$$

$$R_{20°C} = \frac{0{,}0177\ \Omega.mm^2}{m} \left[\frac{m}{mm^2}\right]$$

2) Perhitungan hambatan stator *winding* (R) pada saat temperatur terendah ($T_{minimum}$) sebesar 64.5°C sebagai berikut:

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

$\Delta T = (T_2 - T_1)$
$\Delta T = Lt_{64.5°C} - T_{20°C}m$
$R_2 = R_1\, n1 + \alpha_{tembaga}(T_2 - T_1)o$
$R_{64,5°C} = 0{,}0177\ \Omega.\ K\ [1 + 3{,}9.\ 10^{-3}(74.5°C - 20°C)]\ R_{64.5°C} = 0{,}02146\ \Omega.\ K$

3) Menghitung hambatan stator *winding* (R) pada saat temperatur tertinggi (Tmaksimum) sebesar65,5°C sebagai berikut:
$\Delta T = (T_3 - T_2)$
$\Delta T = lT_{65.4°C} - T_{65.4°C}m$
$R_3 = R_2\, n1 + \alpha_{tembaga}(T_3 - T_2)o$
$R_{65.4°C} = R_{65.4°C}\ n1 + \alpha_{tembaga}lT_{65.4°C} - T_{65.4°C}mo\ R_{65.4°C} =$
$0{,}0212\ \Omega.\ K\ [1 + 3{,}9.\ 10^{-3}(65.4°C - 64.5°C)]\ R_{64.5°C} = 0{,}0210\ \Omega.\ K$

4) Perhitungan persentase rugi-rugi tembaga (%P_{cu}) yang dihasilkan untuk kenaikan temperatur (ΔT) sebesar 1,95°C sebagai berikut:

$$Pcu = \frac{wR65.5°C - R64.5°Cx\ x\ 100\%}{71{,}06}$$

$$Pcu = \frac{d0{,}0213\ \Omega.K - 0{,}0212\ \Omega.Ke\ x\ 100\%}{0{,}0212\ \Omega.K}$$

$$Pcu = 0{,}451\%$$

1) Perhitungan hambatan stator *winding* (R) pada saat temperatur terendah (Tminimum) sebesar 62.2°C sebagai berikut:

$\Delta T = (T_2 - T_1)$
$\Delta T = (T_{62.2°C} - T_{20°C})$
$R_2 = R_1\, n1 + \alpha_{tembaga}(T_2 - T_1)o$
$R_{62°C} = R_{20°C}\ [1 + \alpha_{tembaga}(T_{62.2°C} - T_{20°C})]$
$R_{62.2°C} = 0{,}0177\ \Omega.\ K\ [1 + 3{,}9.\ 10^{-3}(62.2°C - 20°C)]\ R_{62.2°C} = 0{,}0206\ \Omega.\ K$

2) Perhitungan hambatan stator *winding* (R) pada saat temperatur tertinggi (Tmaksimum) sebesar 77,9°C sebagai berikut:
$\Delta T = (T_3 - T_2)$
$\Delta T = lT_{77,9°C} - T_{62°C}m$
$R_3 = R_2\, n1 + \alpha_{tembaga}(T_3 - T_2)o$
$R_{77,9°C} = R_{62°C}\ [1 + \alpha_{tembaga}(T_{77,9°C} - T_{20°C})]\ R_{77,9°C}$
$= 0{,}0205\ \Omega.\ K\ [1 + 3{,}9.\ 10^{-3}(77,9°C - 62°C)]\ R_{77,9°C} = 0{,}0218$
$\Omega.K$

3) Perhitungan persentase rugi-rugi tembaga (%P_{cu}) yang dihasilkan untuk kenaikan temperatur (ΔT) sebesar 16,3°C sebagai berikut:

$$P_{cu} = d\frac{R77.9°C - R62.2°C}{R\ 62.2°C}e\ x\ 100\%$$

$$P_{cu} = d\frac{0{,}0217\ \Omega.K - 0{,}0205\ \Omega.K}{0{,}0205\ \Omega.K}e\ x\ 100\%$$

$P_{cu} = 5{,}8540\%$

Pembahasan

Analisis Pengaruh Variasi Beban Terhadap Perubahan Temperatur Generator *Winding* PT MEGA SURYA ERATAMA

Sistem isolasi yang baik sangat diperlukan dan merupakan bagian yang harus diperhatikan karena fungsi utama sistem isolasi adalah untuk membatasai bagian-bagian yang bertegangan sehingga tidak terjadi hubung singkat, apabila sistem isolasi tidak bekerja seperti seharusnya maka akan menyebabkan kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi terjadi karena beberapa faktor, diantaranya *thermal stress, electrical stress,* dan *environmental stress.* Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai faktor *thermal stress*. *Thermal stress* ini adalah keadaan

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

overheating yang dirasakan oleh *generator winding* dengan kurun waktu yang lama sehingga hal ini dapat menyebabkan stress pada generator *winding* dan isolasi belitan menjadi rapuh atau bahkan rusak[14].

Berdasarkan tabel kelas isolasi generator PT Mega Surya Eratama , generator *winding* dengan kelas isolasi tipe F artinya generator *winding* mampu mentoleransi atau menahan temperatur maksimum sebesar 130°C sehingga tetap dapat berfungsi sebagai bahan bersifat isolator yang artinya tidak dapat menghantarkan panas seperti panas akibat adanya beban. temperatur generator *winding* tidak ada yang mencapai suhu maksimum yang diizinkan atau melebihi suku maksimum sesuai standar kelas isolasi yang digunakan, namun temperatur generator *winding* bervariasi naik atau turun setiap waktunya.

Table 10. Nilai Koefisien Korelasi

Nilai Koefisien Korelasi	Tingkat Korelasi
0,00 -0,199	Korelasi sangat rendah
0,20 -0,399	Korelasi rendah
0,40 -0,599	Korelasi sedang
0,60 -0,799	Korelasi kuat
0,80 - 1,000	Korelasi sangat kuat

(Sumber: Sugiyono, 2017:147)

Kedua, R-*square* (R^2) atau koefisien determinasi merupakan ukuran tingkat pengaruh daya (MW atau KVAR) terhadap temperatur generator *winding.* Nilai koefisien determinasi antara 0-1, semakin mendekati nilai 1 maka pengaruh daya (MW atau KVAR) terhadap temperatur generator *winding* semakin besar, dan apabila semakin mendekati 0 maka terdapat faktor lain yang mempengaruhi temperatur generator *winding.* Ketiga menentukan uji hipotesis dengan uji-t,dalam pengujian hipotesis ini memerlukan acuan nilai signifikansi dan perbandingan nilai (t_{hitung}) dengan (t_{tabel}).

Uji hipotesis berdasarkan nilai signifikansi

a) Apabila nilai signifikansi (P-value) < 0,05 maka terdapat pengaruh daya (MW atau MVAR) terhadap temperatur generator *winding*;
b) Apabila nilai signifikansi (P-value) > 0,05 maka tidak terdapat pengaruh daya (MW atau MVAR) terhadap temperatur generator *winding*.

Korelasi Daya Aktif (MW) dengan Perubahan TemperaturStator Winding PT MEGA SURYA ERATAMA

Berikut merupakan hasil output regressi linier untuk pengaruh daya aktif (MW) terhadap temperatur stator *winding:*

Table 11. Summary Output Korelasi Daya Aktif (MW) dengan Temperatur Stator Winding (°C)

SUMMARY OUTPUT	
Regression Statistics	
Multiple R	0,995
R Square	0,981
Adjusted R Square	0,981
Standard Error	0,814

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Observations	48

Data *output* hasil analisis regresi linier pengaruh daya aktif (MW) terhadap temperatur stator *winding* diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,985 menyatakan bahwa daya aktif (MW) dengan temperatur stator *winding* memiliki korelasi sangat kuat, untuk nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,971 yang berarti pengaruh daya aktif (MW) terhadap temperatur generator winding sebesar 97,1% dan sisanya merupakan dipengaruhi oleh faktor lain. Parameter signifikansi (P-*value*) sebesar 0,05 yang merupakan probabilitas.

Berdasarkan analisis terhadap diagram tebar (*scatter plot*) pada grafik. menggambarkan tipe hubungan positif antara variabel bebas yaitu daya reaktif (KVAR) dengan variabel terikat temperatur rotor *winding,* hal ini karena kecendrungan kenaikan daya reaktif (KVAR) untuk sumbu x pada kurva akan berpengaruh pada kenaikan temperatur rotor *winding* untuk sumbu y kurva, dan garis regresi mengarah kearah kanan. Kecendrungan kurva menunjukan bahwa daya reaktif (KVAR) berpengaruh terhadap temperatur rotor *winding* atau salah satu faktor penyebab temperatur rotor *winding* mengalami variasi naik/turun diakibatkan oleh adanya daya reaktif (KVAR), kecendrungan kurva menunjukan bahwa daya reaktif (KVAR) berpengaruh terhadap temperature rotor winding. Daya reaktif merupakan *output* dari pengaturan arus medan (eksitasi), arus eksitasi ini terhubung ke bagian rotor atau rangkaian medan generator sehingga temperatur rotor *winding* akan mengalami kenaikan apabila daya reaktif yang dibutuhkan beban semakin bertambah karena mengakibatkan arus eksitasi yang dirasakan oleh rotor *winding* semakin besar.

Analisa rugi tembaga pada winding generator

Kenaikan temperatur generator *winding* baik stator *winding* ataupun rotor *winding* disebabkan oleh adanya arus beban. Salah satu akibat dari kenaikan temperatur generator *winding* adalah menimbulkan rugi-rugi pada generator khususnya rugi-rugi tembaga yang merupakan rugi-rugi panas yang diakibatkan oleh adanya arus yang mengalir di belitan tembaga pada generator. Kumparan stator dan rotor terbuat dari bahan tembaga sehingga nilai resistansi tembaga dipengaruhi oleh nilai tahanan jenis (ρ) pada suhu 20℃, panjang kumparan tembaga (l), dan luas penampang dari kumparan tembaga (A) tersebut. Untuk panjang dan luas penampang tembaga tersebut nilainya tidak berubah sehingga besarnya resistansi generator winding sebesar 0,177 Ω.K.

Besar rugi-rugi tembaga stator *winding* diperoleh saat dua kondisi yaitu, saat kondisi arus beban sama yaitu daya aktif sama untuk temperatur stator *winding* yang berbeda, dan saat kondisi temperatur stator winding minimum dan maksimum untuk daya aktif diabaikan. Saat kondisi daya aktif sama sebesar 7.5 MW untuk temperatur stator *winding* minimum sebesar 71,06℃ dengan resistansi sebesar 0,0212 Ω.K dan saat temperatur stator *winding* maksimum sebesar 72,9℃ dengan resistansi sebesar 0,0215 Ω.K dapat menimbulkan rugi tembaga sebesar 0,4716% dari temperatur dasarnya 70,9℃ untuk kenaikan temperatur stator winding sebesar 1,95℃ sedangkan, untuk kondisi temperatur stator *winding* minimum sebesar 62℃ dengan nilai resistansi sebesar 0,0210 Ω.K dan temperatur stator *winding* maksimum sebesar 77,8℃ dengan nilai resistansi sebesar 0,0217 Ω.K dapat menghasilkan rugi tembaga sebesar 5,8536% dari temperatur dasarnya 62℃ untuk kenaikan temperatur stator *winding* sebesar 16,01℃. Untuk menghitung nilai rugi tembaga pada rotor winding diperoleh hanya dengan memperhatikan temperatur rotor winding minimum dan maksimum, hal ini karena berkaitan dengan arus yang mengalir di rotor winding tidak hanya terkait dengan daya reaktif namun juga berkaitan dengan tegangan yang dihasilkan generator. Untuk kondisi temperatur rotor *winding* minimum sebesar 44,08℃ dengan nilai resistansi sebesar 0,0193 Ω.K dan temperatur rotor *winding* maksimum sebesar 61,09℃ dengan nilai resistansi sebesar 0,0205 Ω.K dapat menghasilkan rugi tembaga sebesar 6,2176% dari temperatur dasarnya 44,08℃ untuk kenaikan temperatur *rotor winding* sebesar 17,01℃[15].

Berdasarkan hasil data yang diperoleh untuk persentase kenaikan rugi- rugi yang ditimbulkan akibat dari kenaikan temperatur stator winding dan rotor winding yang disebabkan oleh adanya beban yang bervariasi untuk konsumsi daya aktif (MW) dan daya reaktif (KVAR) menunjukan seiring dengan kenaikan temperatur maka rugi-rugi tembaga mengalami kenaikan dalam persen. Rugi- rugi tembaga dalam bentuk panas ini harus sedapat mungkin diminimalkan ataupun dihilangkan agar generator tidak mengalami kerusakan isolasi dan juga daya yang dibangkitkan oleh generator tidak berkurang akibat adanya rugi pada belitan tembaga tersebut. Dengan demikian, sistem pendingin hidrogen di PLTU PT Mega Surya Eratama menjadi hal yang harus sangat diperhatikan untuk tekanan ataupun kemurnian dari hidrogen tersebut agar selalu dapat mendinginkan generator untuk berapapun kebutuhan beban dengan tetap memperhatikan batas maksimum untuk daya aktif (MW) ataupun daya reaktif (KVAR). Selain hal tersebut, kondisi dari belitan generator harus dipastikan terhindar dari debu atau kontaminasi dari luar karena akan menyebabkan titik-titik panas pada bagian yang terkontaminasi oleh debu atau kotoran yang lainnya. Panas pada belitan generator saat beroperasi disebabkan oleh daya aktif dan reaktif dan daoat diminimalisir dengan sistem pendingin hidrogen namun, apabila disebabkan oleh kondisi belitan generator maka untuk kegiatan pembersihan kondisi dalam generator dapat dilakukan pada saat melakukan pemeliharaan

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

unit yang bersifat skala mayor yaitu seperti *Over Haul*, karena pada saat Over Haul (OH) tersebut dilakukan pembongkaran generator termasuk pembersihan atau penggantian belitan generator untuk menghilangkan debu/kotoran dan kondisi belitan generator yang lainnya. serta kerusakan generator dapat dihindari karena generator masih tetap beroperasi pada batas kurva kapabilitas generator yang menjadi acuan pengoperasian generator.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada PT Mega Surya Eratama, diperoleh kesimpulan bahwa kenaikan temperatur *winding* generator dipengaruhi secara signifikan oleh daya aktif (MW) sebesar 97,1% dan daya reaktif (KVAR) sebesar 58,2%. Hasil analisis menunjukkan bahwa generator masih beroperasi dalam batas aman berdasarkan generator *capability curve*, dengan temperatur maksimum stator sebesar 68,4℃ dan rotor sebesar 57,5℃, masih berada di bawah batas isolasi kelas F yaitu 155℃ pada daya aktif 7,5 MW dan daya reaktif 3136 kVAR. Selain itu, rugi-rugi tembaga (PCU) yang terjadi akibat kenaikan temperatur stator *winding* diperoleh sebesar 0,4816% pada kenaikan temperatur 1,85℃ dalam kondisi daya aktif tetap, dan meningkat menjadi 5,9536% pada kondisi kenaikan temperatur maksimum sebesar 15,1℃.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Penyebab Over Temperatur Pada Winding Generator Diakibatkan Over Speed Di PT Mega Surya Eratama”, sebagai persyaratan Akademis untuk menyelesaikan program Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.Penyusunan jurnal ini merupakan salah satu persyaratan yang harus ditempuh mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Pada kesempatan ini tidak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih kepada:

REFERENSI

[1] M. P. Bidell, “Research Paper,” *Couns. Psychol. Rev.*, vol. 31, no. 1, pp. 67–76, 2016, doi: 10.53841/bpscpr.2016.31.1.67.

[2] Z. Ahmad, “Aktivitas Kerja Dan Peraturan PT PLN. (Persero) Keramasan Palembang 2020:1-26,” no. 183010148, pp. 1–26, 2020.

[3] Satria Darmawan, Rahmaniar, and Pristisal Wibowo, “Analisis Perbandingan Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Lingkungan PT. RAPP,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 8, no. 2, pp. 161–174, 2024, doi: 10.30588/jeemm.v8i2.1960.

[4] rahayu deny danar dan alvi furwanti Alwie, A. B. Prasetio, R. Andespa, P. N. Lhokseumawe, and K. Pengantar, “Tugas Akhir Tugas Akhir,” *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2020.

[5] J. P. Aritonang, “Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator di PLTGU di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Keramasan,” *Pembangkitan Energi List.*, no. 1, pp. 4–31, 2016.

[6] YOGY, “Analisis Pengaruh Beban Daya Listrik Terhadap Operasional Kapal Di Mv. Sea Rose,” pp. 1–32, 2023.

[7] H. P. Konsumen and M. W. Media, “Andi Sri Rezky Wulandari dan Nurdiyana Tadjuddin , Hukum Perlindungan Konsumen , Mitra Wacana Media, Jakarta, 2018, hlm, 1. 1 1,” pp. 1–27, 1945.

[8] R. Harahap, C. P. Silaban, R. Dinzi, and F. R. Bukit, “Analisis Perbandingan Concentrated Winding Dan Toroidal Winding Pada Generator Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) Tiga Fasa Menggunakan Inti Besi Pada Stator,” *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 3, 2021.

[9] G. Pernandes Tambunan *et al.*, “Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Sinkron 11KV Unit 2 ULPLTA

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Sipansihaporas," *J. Ilm. Nusant. (JINU)*, vol. 3, no. 1, pp. 117–128, 2026, [Online]. Available: https://doi.org/10.61722/jinu.v3i1.7415

[10] K. Anam and T. Surya, "Modifikasi Insulation Retaining Ring Rotor Generator Pltu Pangkalan Susu (Sumatera Utara)," pp. 1–17, 2023.

[11] D. Tri *et al.*, "Analisis Preventive Panel Dan Generator 3 Phasa Pada Pt . Pertamina Hulu Energi Ogan Komering," vol. 3, no. 6, pp. 1085–1092, 2025.

[12] R. Ricky and J. Windarta, "Analisis Komparasi Perhitungan Teori dan Aktual Terhadap Daya Aktif dan Daya Reaktif Steam Turbine Generator 2.0 Pada PT Indonesia Power Semarang," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 1, pp. 8–19, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.8133.

[13] A. R. Utomo, "Studi Analisis Tahanan Isolasi 90 Mw Synchronous Generator Dengan Menggunakan Metode Regresi Linier (Kasus: Pt. Pln (Persero)," 2018.

[14] M. T. Rohman, R. Mu'ammar, and A. N. Lisdawati, "Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Kualitas Tahanan Isolasi Stator Generator Unit 2 Di Pt Pln Indonesia Power Ubp Asam Asam," *J. EEICT (Electric Electron. Instrum. Control Telecommun.*, vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.31602/eeict.v8i2.20840.

[15] N. Soedjarwanto and J. Prayoga, "ANALISIS PERBANDINGAN TEMPERATURE WINDING PADA MOTOR SEPARATOR AREA RAW MILL DAN CEMENT MILL DI PT SEMEN BATURAJA Tbk," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5513.

Conflict of Interest Statement:
The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..