

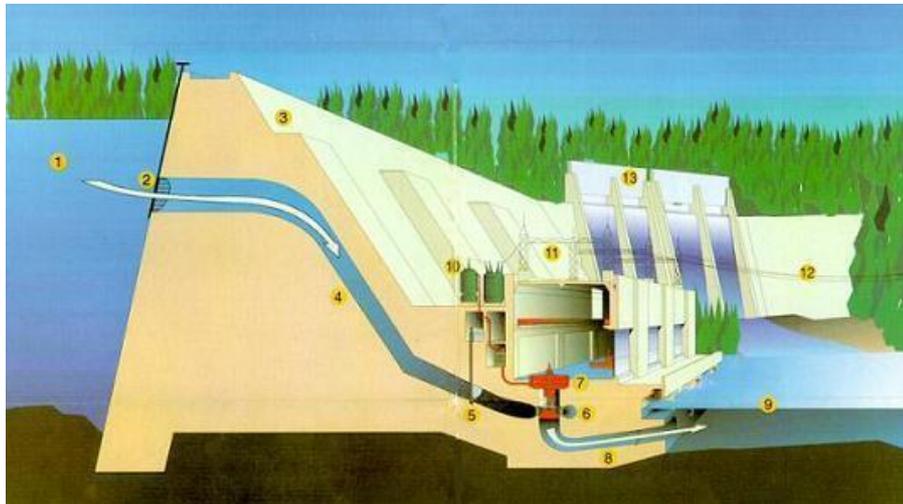
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem Pembangkitan di PLTA UP Mrica

##### 4.1.1 Secara Luas

Unit Pembangkitan (UP) Mrica merupakan salah satu unit Pembangkit Listrik Tenaga Air yang dikelola oleh PT Indonesia Power. Memiliki kapasitas layanan 3 x 60 MW yang dapat membantu sistem interkoneksi apabila jaringan tersebut kekurangan daya untuk membangkitkan beban.



Gambar 4. 1 Bagian-bagian PLTA Waduk Mrica

(<http://alfano-ewa.blogspot.com/2010/12/pembangkit-listrik-tenaga-air-plta.html>)

Berdasarkan Gambar diatas, masing-masing bagian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Waduk
2. Saringan Power Intake
3. Bendungan
4. Pipa Pesat (Penstock)
5. Katup Utama (Main Inlet Valve)

6. Turbin
7. Generator
8. Tail Race
9. Sungai
10. Trafo
11. Gardu Induk Mrica 150 Kv
12. Saluran Tegangan Tinggi 150 Kv
13. Pintu Pelimpas Otomatis (Spillway)

Aliran sungai dengan jumlah debit air yang demikian besar ditampung dalam waduk berkapasitas 148,29 juta m<sup>3</sup> yang ditunjang dengan bangunan bendungan. Air tersebut dialirkan melalui saringan Power Intake kemudian masuk ke Pipa Pesat (Penstock) untuk merubah energi potensial menjadi energi kinetik. Pada ujung pipa pesat dipasang Katup Utama (Main Inlet Valve) untuk mengalirkan air ke turbin. Katup utama akan ditutup otomatis apabila terjadi gangguan atau di stop atau dilakukan perbaikan/pemeliharaan turbin.

Air yang telah mempunyai tekanan dan kecepatan tinggi (energi kinetik) dirubah menjadi energi mekanik dengan dialirkan melalui sirip-sirip pengarah (sudu tetap) akan mendorong sudu jalan/runner yang terpasang pada turbin. Energi putar yang diterima oleh turbin selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator yang kemudian menghasilkan tenaga listrik. Air yang keluar dari turbin melalui Tail Race selanjutnya kembali ke sungai. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator, tegangannya masih rendah (13,8 kV). Oleh karena itu, tegangan tersebut terlebih dahulu dinaikkan dengan Trafo Utama menjadi 150 kV untuk efisiensi penyaluran energi dari pembangkit ke pusat beban. Tegangan tinggi tersebut kemudian diatur/dibagi di Switch Yard 150 kV Gardu Induk Mrica dan selanjutnya disalurkan/interkoneksi ke sistem tenaga listrik Jawa-Bali melalui kawat saluran Tegangan Tinggi 150 kV. Disamping itu waduk Mrica dengan sungai Serayunya yang mempunyai karakteristik khusus,

apabila terjadi banjir maka kelebihan air tersebut akan dibuang melalui pintu pelimpas otomatis (spillway).

#### 4.1.2 Peralatan Sistem Pembangkitan di PLTA UP Mrica

Terdapat beberapa peralatan yang mendukung sistem pembangkitan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Unit Pembangkitan Mrica unit 2 beserta penjelasan serta spesifikasinya sebagai berikut:

##### 4.1.2.1 Turbin

Turbin merupakan suatu alat yang berfungsi untuk merubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Energi kinetik berasal dari air yang ditampung pada waduk, kemudian disalurkan melalui Pipa Pesat untuk merubah energi potensial menjadi energi kinetik. Turbin yang digunakan disini adalah turbin Francis.

Dalam pengoperasiannya, masing-masing unit membutuhkan sekitar  $65 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Sehingga dibutuhkan sekitar  $195 \text{ m}^3/\text{detik}$  untuk pengoperasian penuh 3 unit generator. Turbin tersebut berperan terhadap kecepatan putar generator. Pengendalian kecepatan turbin digunakan peralatan yang disebut *Guide Vane*. Alat tersebut berfungsi mengatur besaran air yang menuju turbin. Semakin besar bukaan, maka kecepatan putar turbin semakin cepat. Begitu juga ketika bukaan semakin kecil, maka kecepatan turbin akan semakin lambat. Besar kecilnya bukaan *Guide Vane* diatur oleh governor yang terprogram.

##### 4.1.2.2 Generator

Generator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kecepatan putar generator berpengaruh terhadap frekuensi yang dihasilkan. Semakin cepat berputar, maka frekuensi semakin tinggi. Begitu juga ketika semakin lambat berputar, maka frekuensi semakin rendah. Untuk

menstabilkan frekuensi tersebut maka kecepatan putar dikendalikan pada turbin. Generator yang digunakan merupakan jenis generator sinkron.

Terdapat 3 buah generator berkapasitas 60 MW yang dapat dioperasikan secara bersama-sama. Pengoperasian unit generator tersebut dikendalikan oleh Unit Pengatur Beban (UPB) PLN. Jadi ketika dibutuhkan operasi penuh, 3 unit akan dioperasikan. Namun jika kapasitas air tersedia di waduk kurang untuk membangkitkan 3 unit, maka hanya dioperasikan beberapa unit saja. Bahkan bisa tidak mengoperasikan satu unit pun, jika kapasitas air sudah berada dibawah level aman. Spesifikasi dari generator yang digunakan oleh PLTA Unit Pembangkitan Mrica ditunjukkan pada gambar 4.1 dan table 4.1.



Gambar 4. 2 Generator unit 2 PLTA UP Mrica

Tabel 4. 1 Spesifikasi Generator PLTA Unit Pembangkitan Mrica

No.	Item	Spesifikasi
1	Merek	ASEA
2	No. Seri	7253 138-140
3	Daya	67.010 Kva
4	Faktor Daya	0.95 <i>lagging</i>
5	Daya ( <i>Mechanical Design</i> )	60.309 Kw
6	Putaran	230.8 rpm
7	Kecepatan Lebih	388 rpm
8	Arah Putaran	Searah dengan jarum jam
9	Momen inersia	1.275.000 kgm <sup>2</sup>
10	Inersia tetap	5,56 Ws/VA
11	Frekuensi	50 Hz
12	Tegangan	13.800 V
13	Arus	2.803 A
14	Standar	IEC 34-1
15	Kelas isolasi stator	F
16	Kelas isolasi rotor	F
17	Pendingin Air Maksimum	30° C
18	Pendingin Udara Maksimum	40 ° C
19	Rugi Gesekan	372 Kw

Tabel 4. 2 Spesifikasi Generator PLTA Unit Pembangkitan Mrica (lanjutan)

No	Item	Spesifikasi
20	Rugi Besi	208 Kw
21	Rugi Tanpa Beban	580 Kw
22	Rugi Beban	452 Kw
23	Rugi Eksitasi	159 Kw
24	Tahanan Lilitan Stator	0.0083 $\Omega$ /fasa
25	Tahanan Lilitan Rotor	0.095 $\Omega$ /fasa
26	Xs	0.22 p.u
27	Penyimpangan Tegangan	$\pm 5\%$

#### 4.1.2.3 Penyearah

Penyearah (*rotating rectifier*) ialah rangkaian penyearah gelombang penuh 3 fase yang menyearahkan keluaran tegangan AC dari eksiter. Keluaran yang berasal dari eksiter disearahkan sebelum di suplai untuk sumber eksitasi pada generator utama.

#### 4.1.2.4 Battery

Memiliki fungsi sebagai sumber catu daya sistem eksitasi pada saat *satrting* awal, di mana generator belum mampu menghasilkan tegangan untuk sistem eksitasi sendiri.

#### 4.1.2.5 Trafo

Digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran generator, di mana keluaran tersebut akan di searahkan kembali dan digunakan untuk eksitasi kembali.



Gambar 4. 3 Trafo Utama Unit 2

#### 4.1.2.6 Automatic Voltage Regulator (AVR)

Alat ini memiliki fungsi untuk menjaga agar tetap konstan, dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil dan tidak berdampak pada perubahan beban yang selalu berubah, karena beban sangat mempengaruhi tegangan keluaran generator.

Prinsip kerja AVR ialah mengatur eksitasi pada eksiter. Saat tegangan keluaran generator di bawah tegangan nominal generator, maka AVR akan memperbesar arus eksitasi pada eksiter. Begitu pun sebaliknya, saat tegangan keluaran generator melebihi tegangan nominal generator, maka AVR akan mengurangi arus eksitasi pada eksiter. Dengan demikian, saat terjadinya perubahan tegangan keluaran generator bisa lebih stabil dengan AVR secara otomatis, karena memiliki peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum dan juga maksimum yang bekerja secara otomatis.

#### 4.2 Analisis Stabilitas Tegangan pada PLTA Unit Pembangkitan Mrica Unit 2

Untuk menganalisis stabilitas tegangan di PLTA Unit Pembangkitan Mrica unit 2, digunakan data operasi harian yang telah dicatat maupun yang masih terdapat pada komputer di ruang kontrol. Data-data yang diperlukan untuk menganalisis karakteristik tersebut ialah tegangan output generator, arus eksitasi, arus jangkar, daya beban, daya reaktif, dan faktor daya serta debit air masuk.

Analisis dilakukan dengan cara membandingkan tiap data yang didapatkan, sehingga diperoleh perbandingan antara data yang ada. Analisis juga dilakukan berdasarkan waktu. Hal tersebut agar dapat dilihat pengaruh perubahan tiap waktu terhadap stabilitas tegangan maupun data lainnya.

Data yang diambil adalah data operasi harian di PLTA Unit Pembangkitan Mrica khususnya generator unit 2 selama 3x24 jam, yang dimulai tanggal 22 Januari 2019 hingga 25 Januari 2019. Berikut adalah data operasi harian yang telah diambil.

Tabel 4. 3 Data Operasi Harian PLTA Unit Pembangkitan Mrica Unit 2, 25 Januari 2019

Waktu	Vout Generator (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Debit Air (m <sup>3</sup> /detik)
00:00	13.98	58.08	10.00	2436.81	949.24	69.83
01:00	13.97	58.00	9.89	2442.53	949.08	69.88
02:00	13.99	58.98	10.01	2497.47	966.64	70.44
03:00	13.85	59.18	5.32	2509.09	917.11	70.34
04:00	13.86	59.12	5.36	2492.65	917.08	70.02
05:00	13.77	59.42	5.99	2507.63	919.48	70.05
06:00	13.69	59.44	4.78	2518.65	905.05	69.91
07:00	13.82	59.04	5.37	2505.45	911.02	69.63
08:00	13.58	59.37	5.50	2540.60	907.64	69.70
09:00	14.09	58.87	19.91	2570.97	1055.24	69.52
10:00	14.04	58.95	20.34	2572.87	1062.90	69.74
11:00	14.00	58.94	20.33	2591.72	1055.24	69.78
12:00	14.19	59.17	19.94	2553.66	1065.42	69.77
13:00	14.00	58.90	18.78	2560.71	1037.83	69.33
14:00	13.88	59.08	18.44	2595.53	1035.24	69.97
15:00	13.92	58.88	17.96	2580.13	1033.17	69.67
16:00	13.99	58.93	18.20	2538.80	1033.11	69.19
17:00	14.07	59.26	18.14	2535.08	1037.79	69.65
18:00	14.09	58.98	17.67	2537.18	1028.24	70.00
19:00	14.15	59.10	18.81	2541.79	1045.64	69.95
20:00	14.17	57.46	18.32	2473.69	1033.02	68.93
21:00	14.22	57.61	18.40	2467.43	1037.73	69.35
22:00	14.22	59.03	18.33	2517.55	1045.49	69.67
23:00	14.27	59.21	19.10	2530.79	1055.37	69.81

Data tersebut pada tabel 4.3 merupakan data operasi harian PLTA UP Mrica unit 2 pada hari Jumat, 25 Januari 2019. Data tersebut diambil tiap satu jam sekali. Data yang berhasil diambil terdiri dari tegangan output generator, daya aktif, daya reaktif, arus jangkar, arus eksitasi dan debit air. Namun data yang akan diolah berupa data tegangan output generator, daya aktif, arus eksitasi dan debit air. Data tersebut akan diolah untuk kemudian dilakukan analisis.

Tabel 4. 4 Data Operasi Harian PLTA Unit Pembangkitan Mrica Unit 2, 26 Januari 2019

Waktu	Vout Generator (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Debit Air (m <sup>3</sup> /detik)
00:00	14.19	58.90	18.83	2480.61	1015.77	69.44
01:00	14.01	59.11	12.10	2499.63	976.36	69.63
02:00	14.05	59.08	12.21	2496.10	986.52	69.78
03:00	14.10	59.26	12.23	2481.09	986.27	69.67
04:00	14.12	59.10	12.44	2482.07	986.36	69.89
05:00	13.96	59.01	11.38	2490.19	968.98	69.45
06:00	13.92	59.30	13.03	2516.52	981.30	69.82
07:00	14.10	59.31	14.04	2498.72	1005.93	69.50
08:00	13.97	59.04	14.66	2524.57	1003.58	69.72
09:00	13.86	59.29	13.87	2556.02	996.08	70.20
10:00	13.86	58.92	14.18	2541.74	995.92	70.02
11:00	14.04	58.70	18.49	2548.49	1037.89	69.60
12:00	14.04	58.87	14.66	2499.23	995.61	69.22
13:00	14.04	58.57	14.82	2516.09	1013.23	69.39
14:00	14.00	58.39	15.33	2507.24	1006.08	69.35
15:00	14.04	58.65	15.07	2509.01	1006.36	70.05
16:00	14.10	58.60	15.71	2492.89	1013.52	69.41
17:00	14.06	58.79	12.22	2470.43	976.17	69.28
18:00	13.95	59.07	12.49	2513.91	976.39	69.71
19:00	13.87	59.01	12.69	2510.37	976.39	69.20
20:00	13.90	59.02	12.47	2537.04	976.42	69.53
21:00	13.96	58.93	11.91	2513.50	976.33	69.67
22:00	13.99	59.08	11.94	2496.56	976.30	69.66
23:00	14.05	58.84	12.43	2478.53	976.05	69.40

Data tersebut pada tabel 4.4 merupakan data operasi harian PLTA UP Mrica unit 2 pada hari Sabtu, 26 Januari 2019. Data tersebut diambil tiap satu jam sekali. Data yang berhasil diambil terdiri dari tegangan output generator, daya aktif, daya reaktif, arus jangkar, arus eksitasi dan debit air. Namun data yang akan diolah berupa data tegangan output generator, daya aktif, arus eksitasi dan debit air. Data tersebut akan diolah untuk kemudian dilakukan analisis.

Tabel 4. 5 Data Operasi Harian PLTA Unit Pembangkitan Mrica Unit 2, 27 Januari 2019

Waktu	Vout Generator (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Debit Air (m <sup>3</sup> /detik)
00:00	14.06	58.77	11.88	2464.87	976.33	69.30
01:00	14.07	58.98	10.61	2467.95	966.42	69.80
02:00	14.10	58.36	10.42	2461.96	966.77	69.56
03:00	14.12	58.70	10.51	2463.52	973.93	69.76
04:00	14.13	58.63	10.33	2442.36	966.61	69.33
05:00	14.03	58.86	10.55	2478.14	966.45	69.51
06:00	13.92	58.55	8.61	2480.97	944.46	69.62
07:00	13.94	58.67	9.13	2469.95	946.80	69.66
08:00	13.82	58.73	9.52	2500.12	946.70	69.54
09:00	13.77	59.08	9.06	2502.89	939.74	69.33
10:00	13.86	57.30	9.44	2517.43	946.80	69.60
11:00	14.04	35.29	11.54	2445.38	958.67	67.81
12:00	14.02	57.34	12.73	1555.93	865.46	41.53
13:00	13.97	57.33	12.93	2433.83	976.24	67.90
14:00	13.98	58.68	11.74	2451.56	966.42	67.85
15:00	14.00	58.61	11.38	2473.80	974.08	69.07
16:00	14.00	58.66	12.23	2471.01	976.58	69.38
17:00	13.79	58.49	13.07	2481.77	986.36	69.32
18:00	13.73	58.66	12.19	2516.61	966.49	69.43
19:00	13.79	58.38	11.93	2528.22	966.33	69.63
20:00	14.11	58.31	13.55	2520.87	983.86	69.68
21:00	14.32	58.64	20.10	2537.49	1045.36	69.02
22:00	14.18	58.22	20.19	2505.91	1006.05	69.44
23:00	14.17	58.19	20.16	2466.85	1007.15	68.80

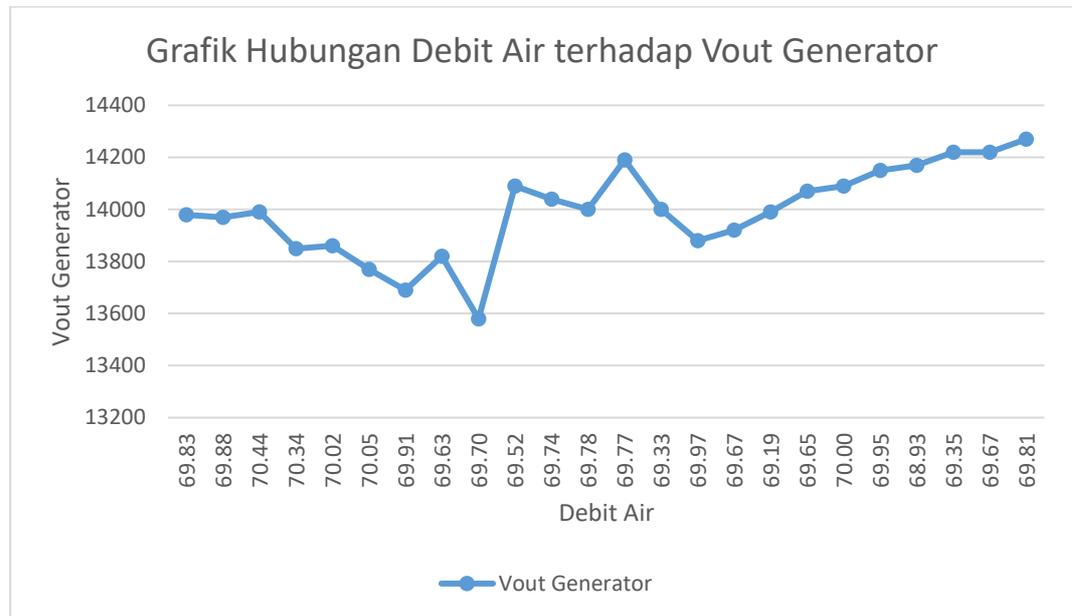
Data tersebut pada tabel 4.5 merupakan data operasi harian PLTA UP Mrica unit 2 pada hari Minggu, 27 Januari 2019. Data tersebut diambil tiap satu jam sekali. Data yang berhasil diambil terdiri dari tegangan output generator, daya aktif, daya reaktif, arus jangkar, arus eksitasi dan debit air. Namun data yang akan diolah berupa data tegangan output generator, daya aktif, arus eksitasi dan debit air. Data tersebut akan diolah untuk kemudian dilakukan analisis.

#### 4.3.1 Analisis Debit Air terhadap Stabilitas Tegangan

Air merupakan elemen penting pada sebuah PLTA, sehingga ketersediannya sangat diperlukan. Semakin besar debit air yang menuju turbin, maka putaran generator akan semakin cepat. Untuk mengetahui pengaruh debit air terhadap stabilitas tegangan pada PLTA dapat dilihat pada tabel, grafik dan analisis berikut.

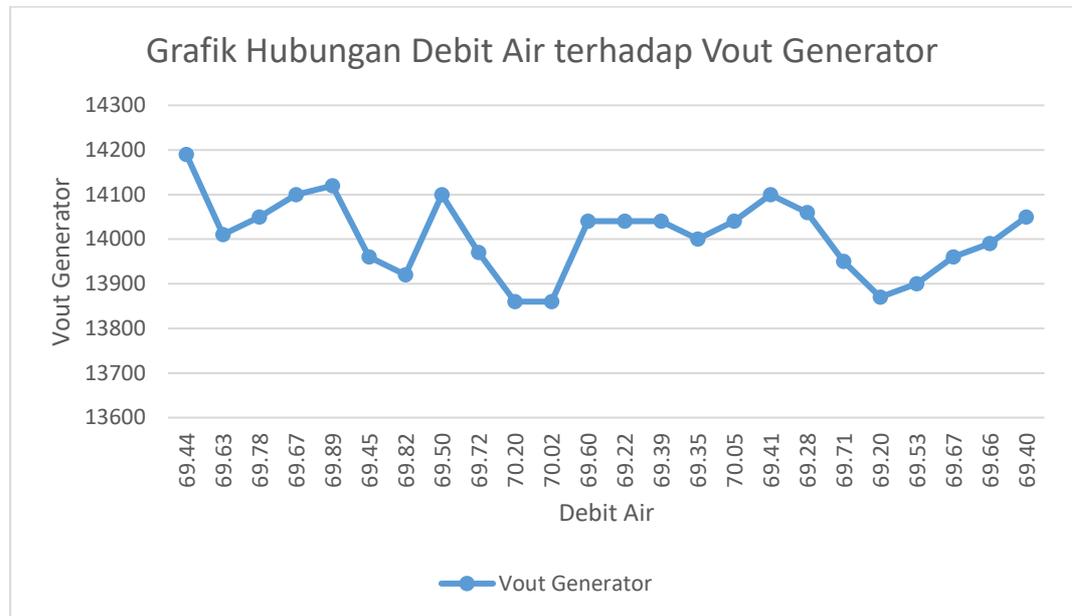
Tabel 4. 6 Data Debit Air dan Vout

25 Januari 2019		26 Januari 2019		27 Januari 2019	
Debit air (m <sup>3</sup> /detik)	Vout (V)	Debit air (m <sup>3</sup> /detik)	Vout (V)	Debit air (m <sup>3</sup> /detik)	Vout (V)
69.83	13980	69.44	14190	69.30	14060
69.88	13970	69.63	14010	69.80	14070
70.44	13990	69.78	14050	69.56	14100
70.34	13850	69.67	14100	69.76	14120
70.02	13860	69.89	14120	69.33	14130
70.05	13770	69.45	13960	69.51	14030
69.91	13690	69.82	13920	69.62	13920
69.63	13820	69.50	14100	69.66	13940
69.70	13580	69.72	13970	69.54	13820
69.52	14090	70.20	13860	69.33	13770
69.74	14040	70.02	13860	69.60	13860
69.78	14000	69.60	14040	67.81	14040
69.77	14190	69.22	14040	41.53	14020
69.33	14000	69.39	14040	67.90	13970
69.97	13880	69.35	14000	67.85	13980
69.67	13920	70.05	14040	69.07	14000
69.19	13990	69.41	14100	69.38	14000
69.65	14070	69.28	14060	69.32	13790
70.00	14090	69.71	13950	69.43	13730
69.95	14150	69.20	13870	69.63	13790
68.93	14170	69.53	13900	69.68	14110
69.35	14220	69.67	13960	69.02	14320
69.67	14220	69.66	13990	69.44	14180
69.81	14270	69.40	14050	68.80	14170



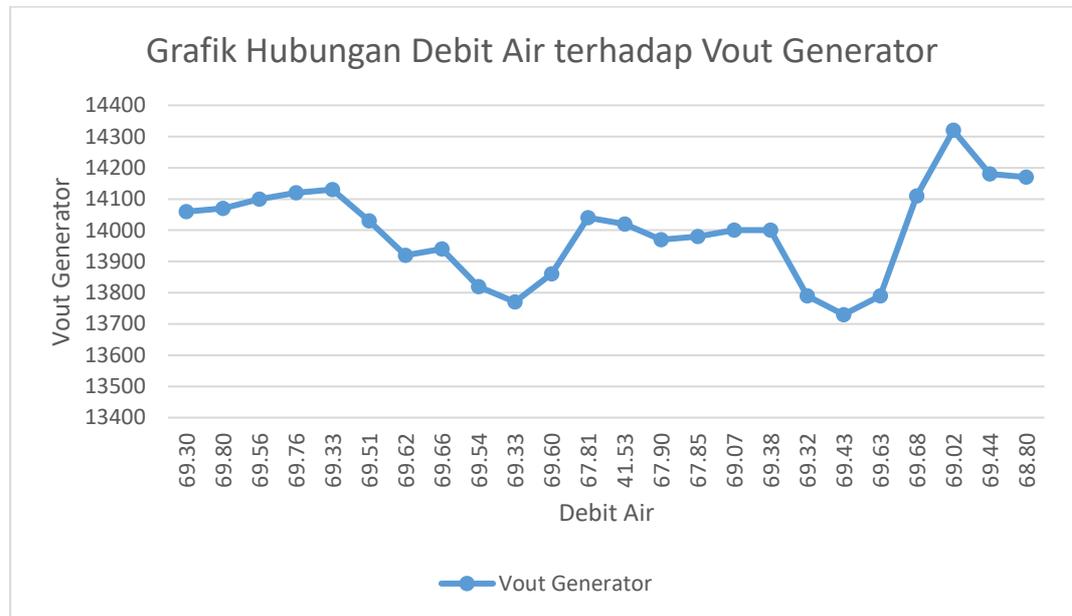
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Vout Generator  
 Jumat, 25 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.4 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Vout Generator, nilai debit air tertinggi pada hari Jumat 25 Januari 2019 adalah 70,44 m<sup>3</sup>/detik dengan nilai tegangan output 13,99 kV, sedangkan nilai terendah dari debit air adalah 68,93 m<sup>3</sup>/detik dengan nilai tegangan output 14,17 kV. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa ketika tegangan output generator turun, maka debit air akan diperbesar. Begitu juga sebaliknya ketika tegangan output generator naik, maka debit air akan diturunkan. Hal tersebut untuk mengatur kecepatan putarnya.



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Vout Generator Sabtu, 26 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.5 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Vout Generator, nilai debit air tertinggi pada hari Sabtu 26 Januari 2019 adalah 70,20 m<sup>3</sup>/detik dengan nilai tegangan output 13,86 kV, sedangkan nilai terendah dari debit air adalah 69,20 m<sup>3</sup>/detik dengan nilai tegangan output 13,87 kV. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa ketika tegangan output generator turun, maka debit air akan diperbesar. Begitu juga sebaliknya ketika tegangan output generator naik, maka debit air akan diturunkan. Hal tersebut untuk mengatur kecepatan putarnya.



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Vout Generator Minggu, 27 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.6 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Vout Generator, nilai debit air tertinggi pada hari Minggu 27 Januari 2019 adalah 69,80 m<sup>3</sup>/detik dengan nilai tegangan output 14,07 kV, sedangkan nilai terendah dari debit air adalah 41,53 m<sup>3</sup>/detik dengan nilai tegangan output 14,02 kV. Dari data tersebut terlihat bahwa ketika tegangan output generator lebih stabil dibanding pada hari jumat dan sabtu, karena beban konsumen yang lebih rendah dan stabil.

Dari ke tiga data dan hasil analisis diatas menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara debit air terhadap tegangan output generator pada PLTA UP Mrica. Debit air memiliki peran yang penting dalam mengatur kecepatan putar generator yang menghasilkan tegangan output. Ketika tegangan output generator tinggi, maka debit air yang dibutuhkan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya ketika tegangan output generator rendah, maka debit air yang dibutuhkan semakin besar. Sehingga ketersediaan pasokan air

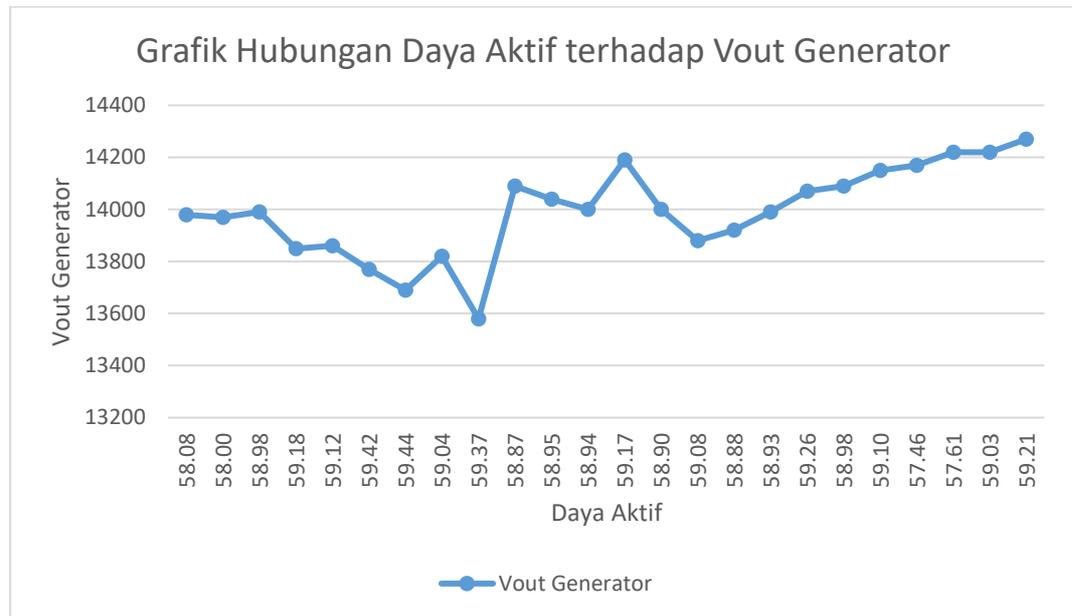
sangat penting pada sebuah PLTA. Apabila beban besar dan pasokan air kurang, maka PLTA tidak dapat beroperasi dengan maksimal.

#### 4.3.2 Analisis Daya Aktif terhadap Stabilitas Tegangan

Naik turunnya beban berasal dari konsumen, hal tersebut dapat mempengaruhi stabilitas tegangan. Untuk melihat sebesar apa pengaruh beban terhadap stabilitas tegangan pada PLTA dapat dilihat pada tabel, grafik dan analisis berikut.

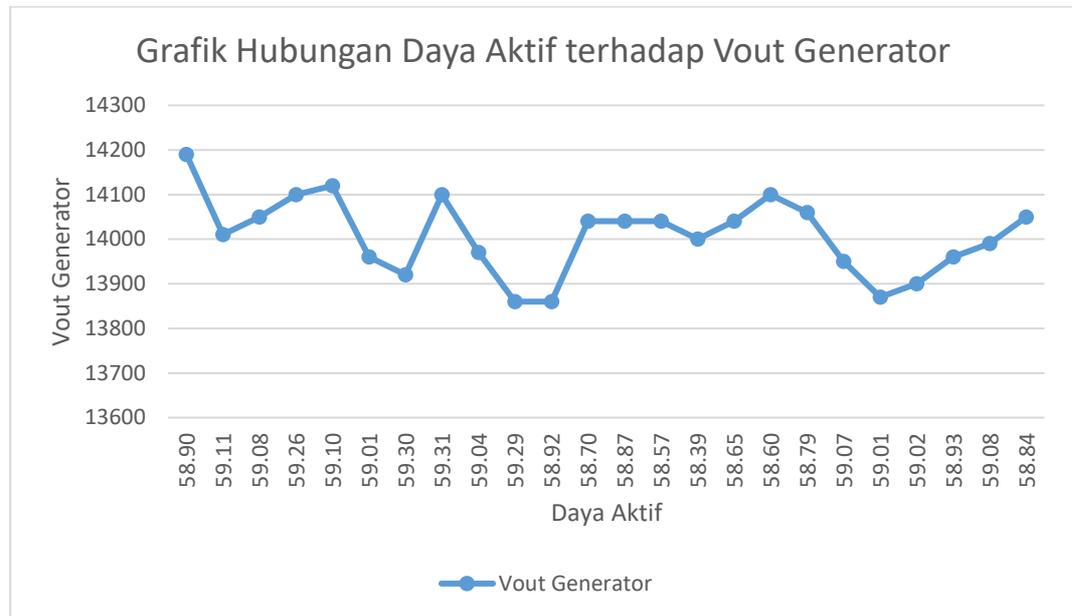
Tabel 4. 7 Data Daya Aktif dan Vout

25 Januari 2019		26 Januari 2019		27 Januari 2019	
Daya aktif (MW)	Vout (V)	Daya aktif (MW)	Vout (V)	Daya aktif (MW)	Vout (V)
58.08	13980	58.90	14190	58.77	14060
58.00	13970	59.11	14010	58.98	14070
58.98	13990	59.08	14050	58.36	14100
59.18	13850	59.26	14100	58.70	14120
59.12	13860	59.10	14120	58.63	14130
59.42	13770	59.01	13960	58.86	14030
59.44	13690	59.30	13920	58.55	13920
59.04	13820	59.31	14100	58.67	13940
59.37	13580	59.04	13970	58.73	13820
58.87	14090	59.29	13860	59.08	13770
58.95	14040	58.92	13860	57.30	13860
58.94	14000	58.70	14040	35.29	14040
59.17	14190	58.87	14040	57.34	14020
58.90	14000	58.57	14040	57.33	13970
59.08	13880	58.39	14000	58.68	13980
58.88	13920	58.65	14040	58.61	14000
58.93	13990	58.60	14100	58.66	14000
59.26	14070	58.79	14060	58.49	13790
58.98	14090	59.07	13950	58.66	13730
59.10	14150	59.01	13870	58.38	13790
57.46	14170	59.02	13900	58.31	14110
57.61	14220	58.93	13960	58.64	14320
59.03	14220	59.08	13990	58.22	14180
59.21	14270	58.84	14050	58.19	14170



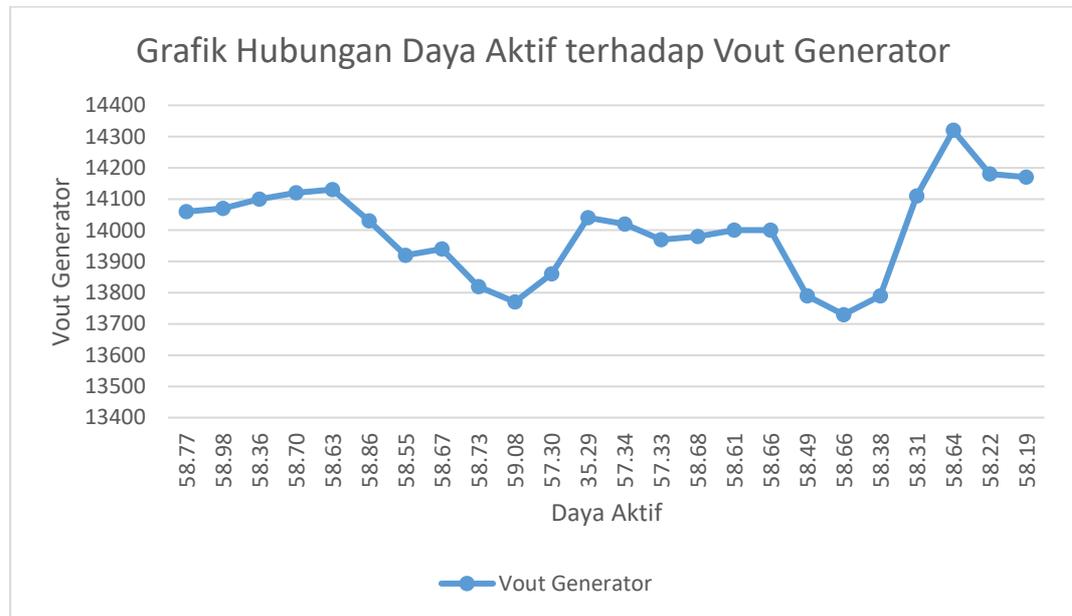
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Vout Generator  
Jumat, 25 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.7 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Vout Generator, nilai daya aktif tertinggi pada hari Jumat 25 Januari 2019 adalah 59,44 MW dengan nilai tegangan output 13,69 kV, sedangkan nilai terendah dari daya aktif adalah 57,46 MW dengan nilai tegangan output 14,17 kV. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa ketika daya aktif tinggi, maka tegangan output generator akan semakin rendah. Begitu juga sebaliknya ketika daya aktif rendah, maka tegangan output generator akan semakin tinggi. Sehingga daya aktif akan berbanding terbalik dengan tegangan output generator.



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Vout Generator Sabtu, 26 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.8 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Vout Generator, nilai daya aktif tertinggi pada hari Sabtu 26 Januari 2019 adalah 59,31 MW dengan nilai tegangan output 14,10 kV, sedangkan nilai terendah dari daya aktif adalah 58,39 MW dengan nilai tegangan output 14 kV. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa ketika daya aktif tinggi, maka tegangan output generator akan semakin rendah. Begitu juga sebaliknya ketika daya aktif rendah, maka tegangan output generator akan semakin tinggi. Sehingga daya aktif akan berbanding terbalik dengan tegangan output generator. Walaupun terdapat keterlambatan tegangan dalam menyesuaikan beban yang ada, karena sistem membutuhkan waktu untuk menstabilkan kembali.



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Vout Generator Minggu, 27 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.9 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Vout Generator, nilai daya aktif tertinggi pada hari Minggu 27 Januari 2019 adalah 59,08 MW dengan nilai tegangan output 13,77 kV, sedangkan nilai terendah dari daya aktif adalah 35,29 MW dengan nilai tegangan output 14,04 kV. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa ketika daya aktif tinggi, maka tegangan output generator akan semakin rendah. Begitu juga sebaliknya ketika daya aktif rendah, maka tegangan output generator akan semakin tinggi. Sehingga daya aktif akan berbanding terbalik dengan tegangan output generator.

Dari ke tiga data dan hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara daya aktif terhadap tegangan output generator pada PLTA UP Mrica. Daya aktif memiliki pengaruh terhadap stabilitas tegangan output generator. Semakin besar daya aktif, maka tegangan output akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya jika daya aktif semakin kecil maka tegangan output

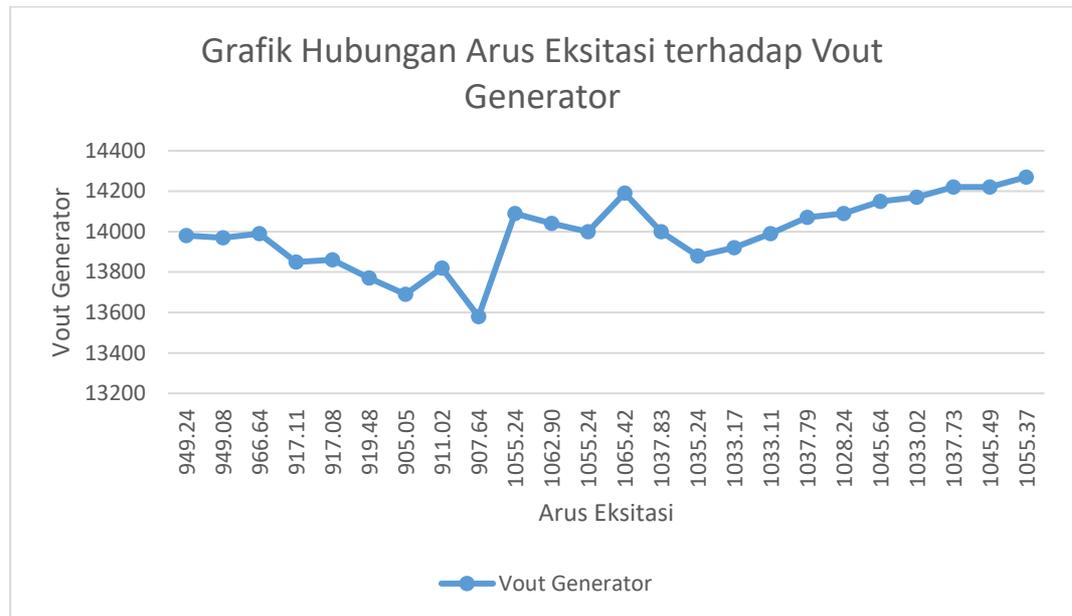
semakin besar. Daya aktif berbanding terbalik dengan tegangan output.

#### 4.3.3 Analisis Arus Eksitasi terhadap Stabilitas Tegangan

Sebagai pembangkit medan magnet, sistem eksitasi dapat mempengaruhi stabilitas tegangan pembangkitan. Besar kecilnya arus eksitasi tersebut berkaitan juga dengan besar kecilnya tegangan yang dihasilkan. Untuk mengetahui pengaruh arus eksitasi terhadap stabilitas tegangan pada PLTA dapat dilihat pada tabel, grafik dan analisis berikut.

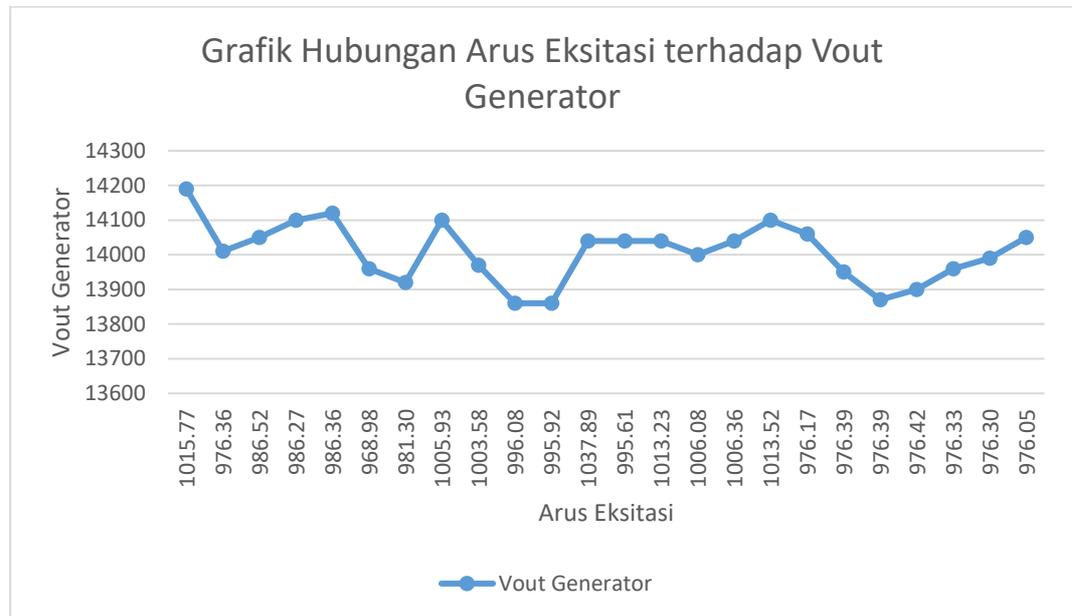
Tabel 4. 8 Data Arus Eksitasi dan Vout

25 Januari 2019		26 Januari 2019		27 Januari 2019	
Arus Eksitasi (A)	Vout (V)	Arus Eksitasi (A)	Vout (V)	Arus Eksitasi (A)	Vout (V)
949.24	13980	1015.77	14190	976.33	14060
949.08	13970	976.36	14010	966.42	14070
966.64	13990	986.52	14050	966.77	14100
917.11	13850	986.27	14100	973.93	14120
917.08	13860	986.36	14120	966.61	14130
919.48	13770	968.98	13960	966.45	14030
905.05	13690	981.30	13920	944.46	13920
911.02	13820	1005.93	14100	946.80	13940
907.64	13580	1003.58	13970	946.70	13820
1055.24	14090	996.08	13860	939.74	13770
1062.90	14040	995.92	13860	946.80	13860
1055.24	14000	1037.89	14040	958.67	14040
1065.42	14190	995.61	14040	865.46	14020
1037.83	14000	1013.23	14040	976.24	13970
1035.24	13880	1006.08	14000	966.42	13980
1033.17	13920	1006.36	14040	974.08	14000
1033.11	13990	1013.52	14100	976.58	14000
1037.79	14070	976.17	14060	986.36	13790
1028.24	14090	976.39	13950	966.49	13730
1045.64	14150	976.39	13870	966.33	13790
1033.02	14170	976.42	13900	983.86	14110
1037.73	14220	976.33	13960	1045.36	14320
1045.49	14220	976.30	13990	1006.05	14180
1055.37	14270	976.05	14050	1007.15	14170



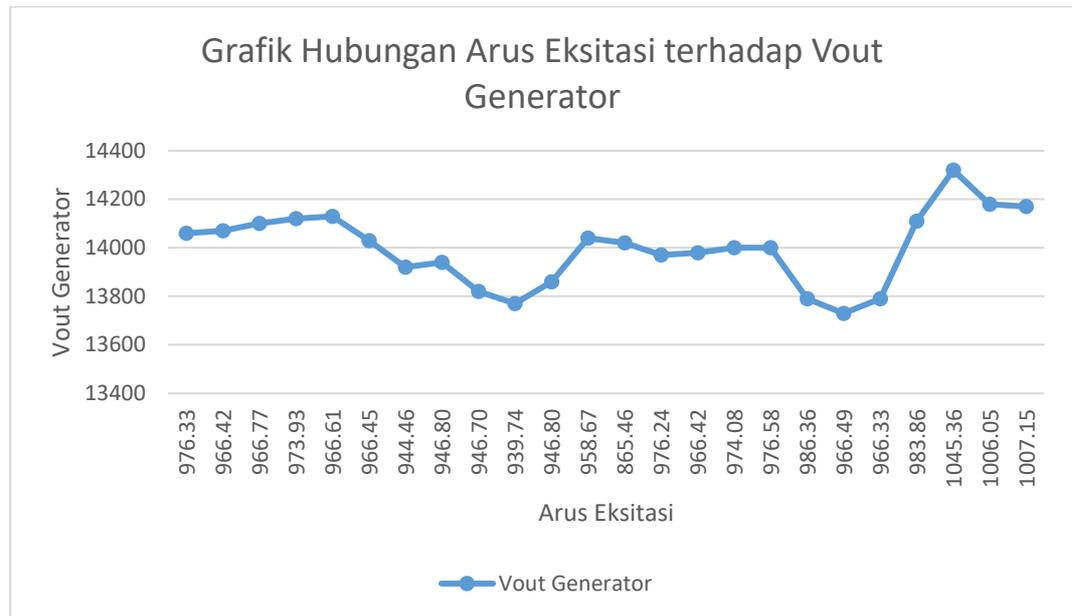
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Vout Generator  
 Jumat, 25 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.10 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Vout Generator, nilai arus eksitasi tertinggi pada hari Jumat 25 Januari 2019 adalah 1065,42 A dengan nilai tegangan output 14,19 kV, sedangkan nilai terendah dari arus eksitasi adalah 905,05 A dengan nilai tegangan output 13,69 kV. Dari data tersebut terlihat bahwa arus eksitasi berbanding lurus dengan tegangan output generator. Ketika arus eksitasi tinggi, maka tegangan output generator juga semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya ketika arus eksitasi rendah, maka tegangan output generator akan semakin rendah.



Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Vout Generator Sabtu, 26 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.11 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Vout Generator, nilai arus eksitasi tertinggi pada hari Sabtu 26 Januari 2019 adalah 1037,89 A dengan nilai tegangan output 14,04 kV, sedangkan nilai terendah dari arus eksitasi adalah 968,98 A dengan nilai tegangan output 13,96 kV. Dari data tersebut terlihat bahwa arus eksitasi berbanding lurus dengan tegangan output generator. Ketika arus eksitasi tinggi, maka tegangan output generator juga semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya ketika arus eksitasi rendah, maka tegangan output generator akan semakin rendah.



Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Vout Generator Minggu, 27 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.12 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Vout Generator, nilai arus eksitasi tertinggi pada hari Minggu 27 Januari 2019 adalah 1045,36 A dengan nilai tegangan output 14,32 kV, sedangkan nilai terendah dari arus eksitasi adalah 865,46 A dengan nilai tegangan output 14,02 kV. Dari data tersebut terlihat bahwa arus eksitasi berbanding lurus dengan tegangan output generator. Ketika arus eksitasi tinggi, maka tegangan output generator juga semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya ketika arus eksitasi rendah, maka tegangan output generator akan semakin rendah.

Dari ke tiga data dan hasil analisis diatas diketahui bahwa didapat hubungan antara arus eksitasi terhadap tegangan output generator pada PLTA UP Mrica. Arus eksitasi berbanding lurus dengan tegangan output generator. Arus eksitasi berfungsi untuk membangkitkan tegangan pada sebuah generator sinkron. Ketika tegangan yang dibutuhkan besar, maka arus eksitasi akan semakin

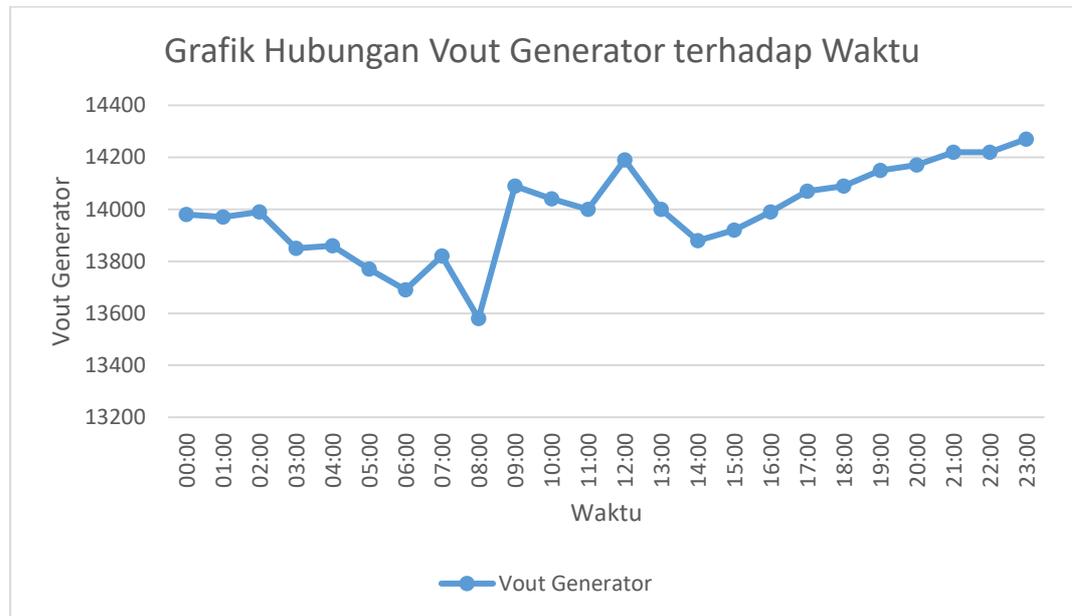
besar. Begitu juga sebaliknya jika beban turun dan tegangan perlu diturunkan, maka arus eksitasi akan diturunkan.

#### 4.3.4 Analisis terhadap Waktu

Setiap perubahan perubahan waktu kebutuhan beban pasti akan berbeda. Begitu juga dengan kondisi debit air yang ada, sehingga akan terjadi perbedaan kondisi setiap perubahan waktu. Untuk mengetahui pengaruh masing-masing data pada setiap perubahan waktu dapat dilihat pada tabel, grafik dan analisis berikut.

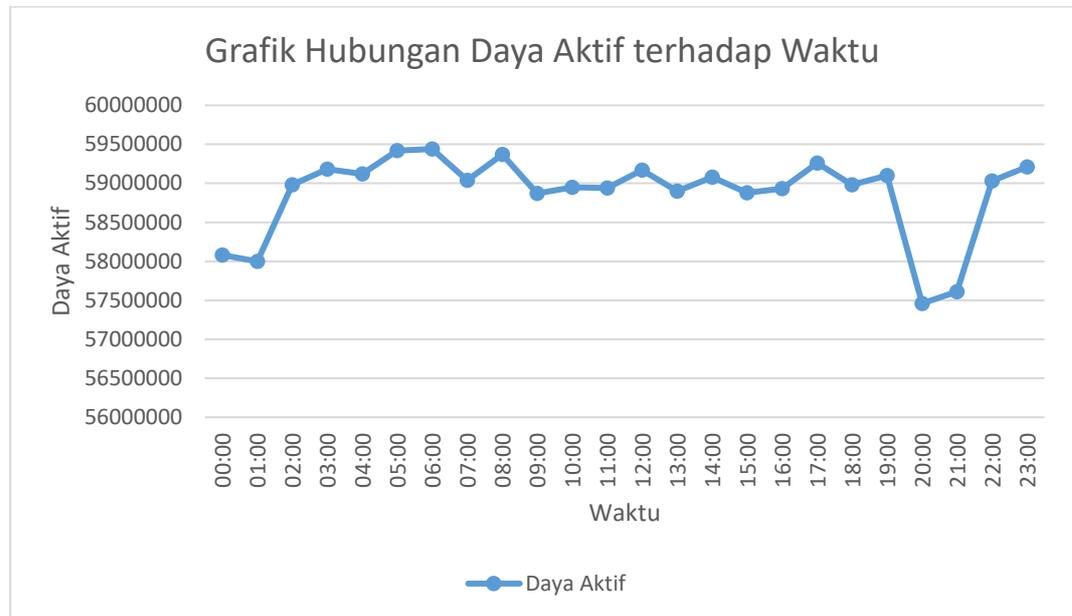
Tabel 4. 9 Data Operasi 25 Januari 2019

Waktu	Vout (V)	Daya Aktif (W)	Arus Eksitasi (mA)	Debit Air (dm <sup>3</sup> /detik)
00:00	13980	58080000	949240	69830
01:00	13970	58000000	949080	69880
02:00	13990	58980000	966640	70440
03:00	13850	59180000	917110	70340
04:00	13860	59120000	917080	70020
05:00	13770	59420000	919480	70050
06:00	13690	59440000	905050	69910
07:00	13820	59040000	911020	69630
08:00	13580	59370000	907640	69700
09:00	14090	58870000	1055240	69520
10:00	14040	58950000	1062900	69740
11:00	14000	58940000	1055240	69780
12:00	14190	59170000	1065420	69770
13:00	14000	58900000	1037830	69330
14:00	13880	59080000	1035240	69970
15:00	13920	58880000	1033170	69670
16:00	13990	58930000	1033110	69190
17:00	14070	59260000	1037790	69650
18:00	14090	58980000	1028240	70000
19:00	14150	59100000	1045640	69950
20:00	14170	57460000	1033020	68930
21:00	14220	57610000	1037730	69350
22:00	14220	59030000	1045490	69670
23:00	14270	59210000	1055370	69810



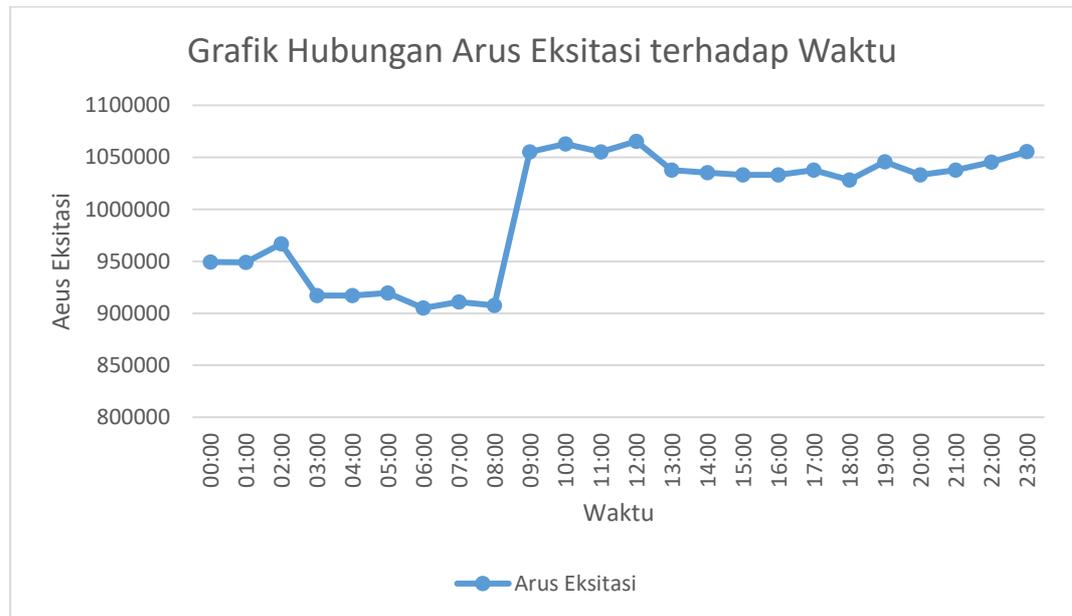
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan Vout Generator terhadap Waktu  
Jumat, 25 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.13 Grafik Hubungan Vout Generator terhadap Waktu, saat hari jumat tanggal 25 Januari 2019 terjadi fluktuasi pada tegangan output yang signifikan. Pada pukul 08.00 tegangan berada pada nilai paling rendah sebesar 13,58 Kv, sedangkan pada pukul 23.00 tegangan berada pada nilai paling tinggi sebesar 14,27 kV. Pada pukul 06.00-14.00 tegangan output sangat fluktuatif dikarenakan aktivitas konsumen telah dimulai. Pada pukul 15.00-23.00 tegangan output stabil dan terus meningkat, karena pada waktu tersebut pemakain industri dan perkantoran mulai tutup.



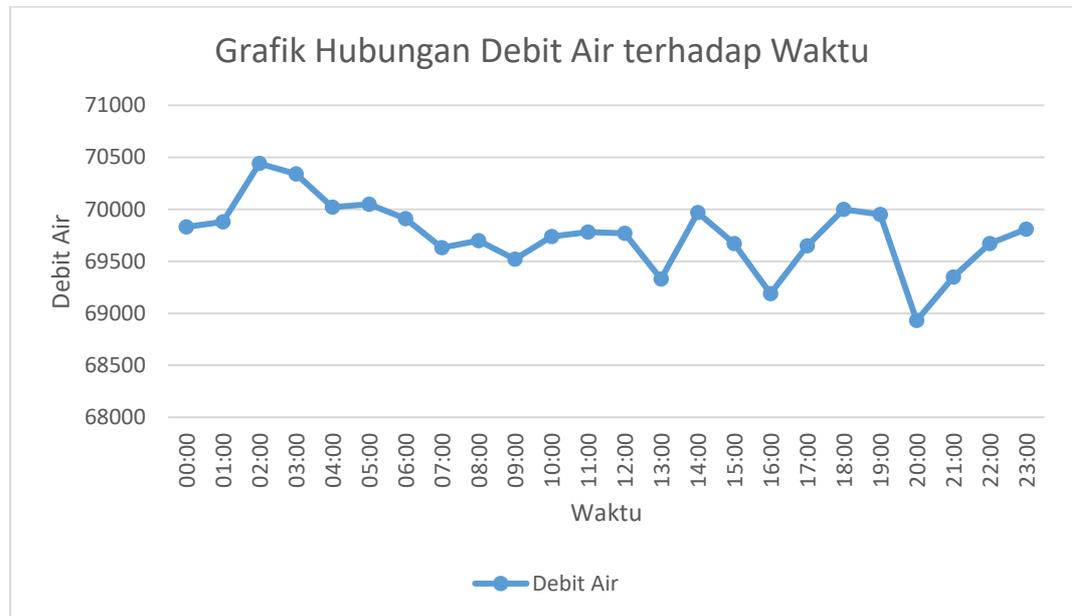
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Waktu  
 Jumat, 25 Januari 2019

Berdasarkan Gambar 4.14 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Waktu, saat hari jumat 25 Januari 2019 daya aktif terendah pada pukul 20.00 sebesar 57,46 MW, sedangkan daya aktif tertinggi pada pukul 06.00 sebesar 59,44 MW. Fluktuasi terjadi cukup signifikan, karena beban industri maupun perkantoran yang masih ada. Dari data tersebut daya aktif mengalami fluktuasi yang signifikan dari sore hingga malam, karena pemakaian konsumen meningkat untuk penerangan dan keperluan lainnya.



Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Waktu  
Jumat, 25 Januari 2019

Saat hari jumat 25 Januari 2019 arus terkecil terjadi pada pukul 06.00 sebesar 905,05 A, sedangkan arus terbesar terjadi pada pukul 12.00 sebesar 1065,42 A. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa arus eksitasi dari dini hari menjelang pagi cenderung stabil. Kemudian dari pagi hingga menjelang siang terjadi kenaikan. Setelah itu cenderung stabil dari siang hingga malam hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa arus eksitasi yang dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan terus naik dari pagi hingga malam yang mana beban sedang tinggi sehingga tegangan akan turun. Kemudian dinaikan nilai tegangannya oleh salah satunya yaitu arus eksitasi.

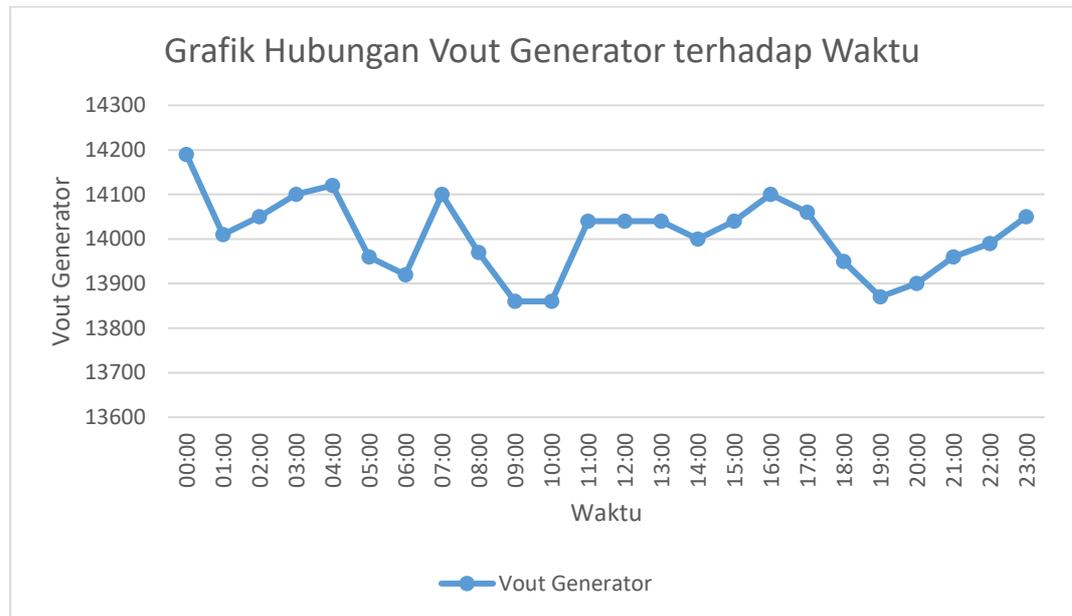


Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Waktu  
Jumat, 25 Januari 2019

Saat hari jumat 25 Januari 2019 debit air terkecil terjadi pada pukul 20.00 sebesar 68,93 m<sup>3</sup>/detik, sedangkan debit air terbesar terjadi pada pukul 02.00 sebesar 70,44 m<sup>3</sup>/detik. Dari data tersebut terlihat bahwa kebutuhan debit air cenderung menurun. Namun terjadi fluktuasi pada siang hingga malam hari. Hal tersebut dikarenakan beban yang berubah-ubah menyebabkan tegangan output tidak stabil, sehingga debit air akan diatur untuk menyesuaikan dengan kondisi tegangan output generator.

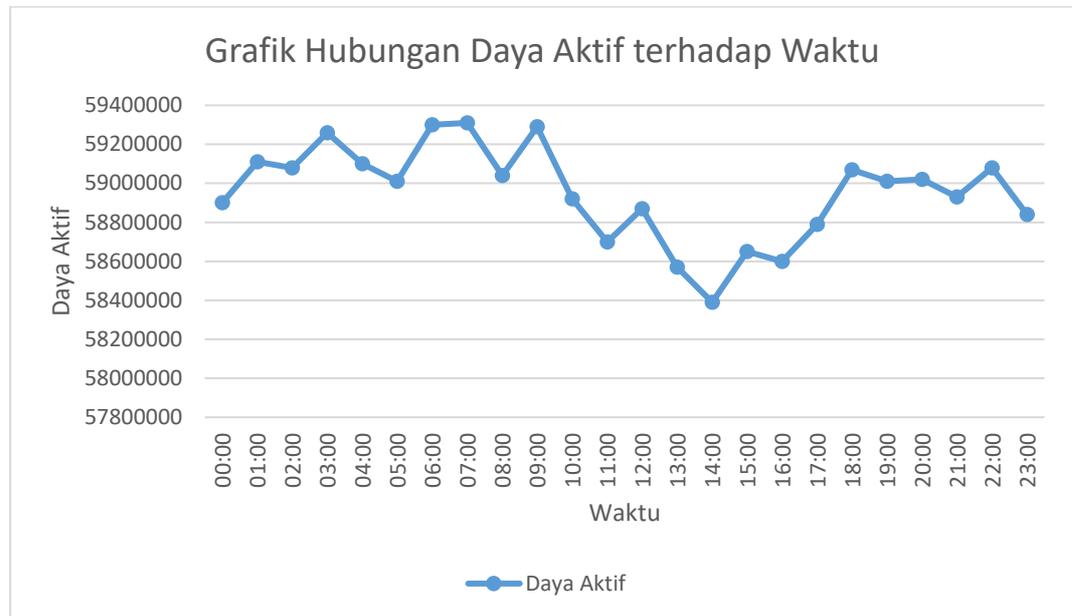
Tabel 4. 10 Data Operasi 26 Januari 2019

Waktu	Vout (V)	Daya Aktif (W)	Arus Eksitasi (mA)	Debit Air (dm <sup>3</sup> /detik)
00:00	14190	58900000	1015770	69440
01:00	14010	59110000	976360	69630
02:00	14050	59080000	986520	69780
03:00	14100	59260000	986270	69670
04:00	14120	59100000	986360	69890
05:00	13960	59010000	968980	69450
06:00	13920	59300000	981300	69820
07:00	14100	59310000	1005930	69500
08:00	13970	59040000	1003580	69720
09:00	13860	59290000	996080	70200
10:00	13860	58920000	995920	70020
11:00	14040	58700000	1037890	69600
12:00	14040	58870000	995610	69220
13:00	14040	58570000	1013230	69390
14:00	14000	58390000	1006080	69350
15:00	14040	58650000	1006360	70050
16:00	14100	58600000	1013520	69410
17:00	14060	58790000	976170	69280
18:00	13950	59070000	976390	69710
19:00	13870	59010000	976390	69200
20:00	13900	59020000	976420	69530
21:00	13960	58930000	976330	69670
22:00	13990	59080000	976300	69660
23:00	14050	58840000	976050	69400



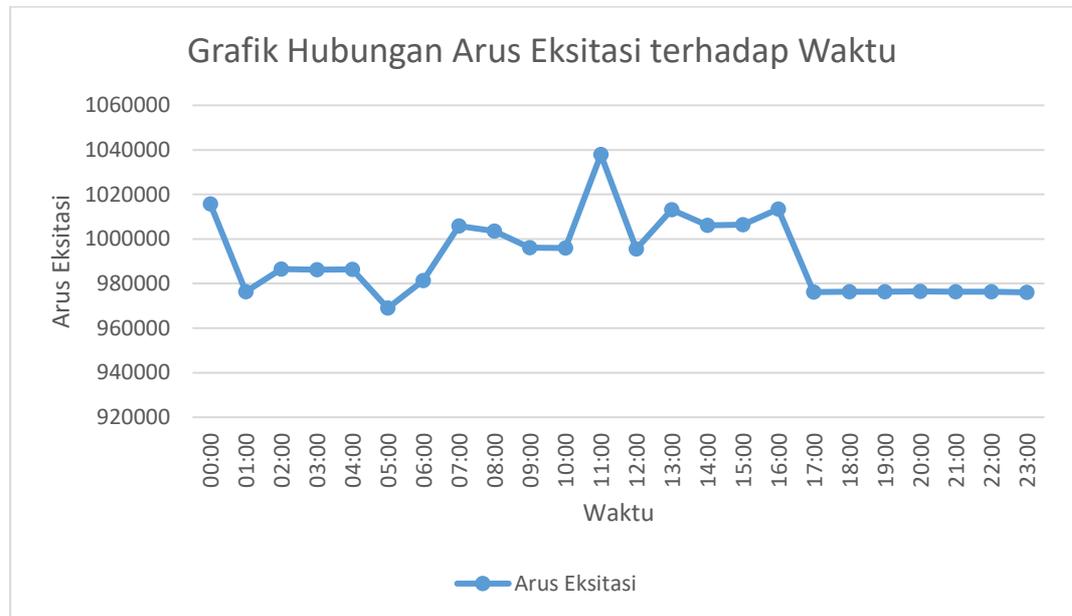
Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Vout Generator terhadap Waktu Sabtu, 26 Januari 2019

Saat hari sabtu tanggal 26 Januari 2019 terjadi fluktuasi pada tegangan output. Pada pukul 10.00 tegangan pada nilai paling rendah sebesar 13,86 kV, sedangkan pada pukul 00.00 tegangan berada pada nilai paling tinggi sebesar 14,19 kV. Fluktuasi terjadi dari dini hari hingga sore hari, namun kembali stabil pada malam hari karena perubahan beban dari konsumen. Perubahan beban konsumen tersebut berubah-ubah karena setiap waktunya pemakaian listrik oleh konsumen akan berbeda. Hal tersebutlah yang mengakibatkan fluktuasi pada tegangan output generator.



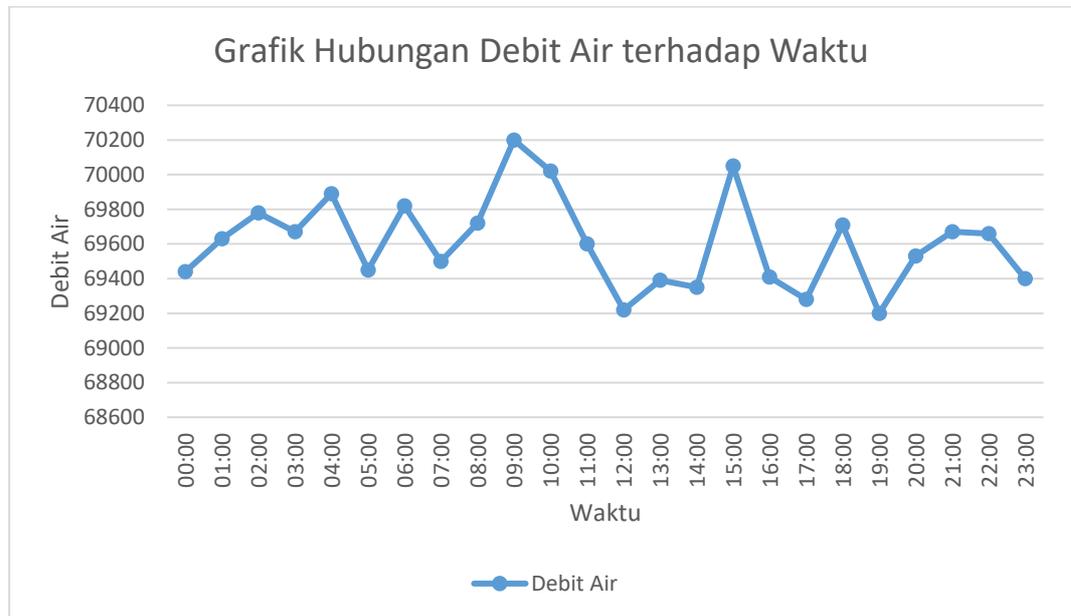
Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Waktu Sabtu, 26 Januari 2019

Saat hari sabtu 26 Januari 2019 yang mendapat nilai daya aktif terendah pada pukul 14.00 sebesar 58,39 MW dan nilai daya aktif tertinggi pada pukul 07.00 sebesar 59,31 MW. Dari data tersebut terlihat bahwa daya aktif cenderung fluktuatif atau berubah-ubah. Terlihat bahwa pada pagi hari cenderung tinggi. Namun menjelang siang hari daya aktifnya turun. Kemudian naik lagi menjelang malam. Hal tersebut dikarenakan pada siang hari banyak industri atau perkantoran istirahat. Kemudian beraktifitas lagi hingga sore hari. Pada malamnya pemakain listrik untuk penerangan meningkat.



Gambar 4. 19 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Waktu Sabtu, 26 Januari 2019

Saat hari sabtu 26 Januari 2019 arus terkecil terjadi pada pukul 05.00 sebesar 968,98 A, sedangkan arus terbesar terjadi pada pukul 11.00 sebesar 1037,89 A. Dari data tersebut terlihat bahwa arus eksitasi cenderung fluktuatif dan maningkat ketika siang hari. Kemudian turun dan cenderung stabil pada waktu sore hingga malam hari. Hal tersebut memperlihatkan bahwa arus eksitasi akan memberikan arus yang tinggi untuk menstabilkan tegangan output generator pada waktu siang hari yang mana beban sangat fluktuatif. Kemudian stabil ketiga beban juga stabil ketika malam hari.

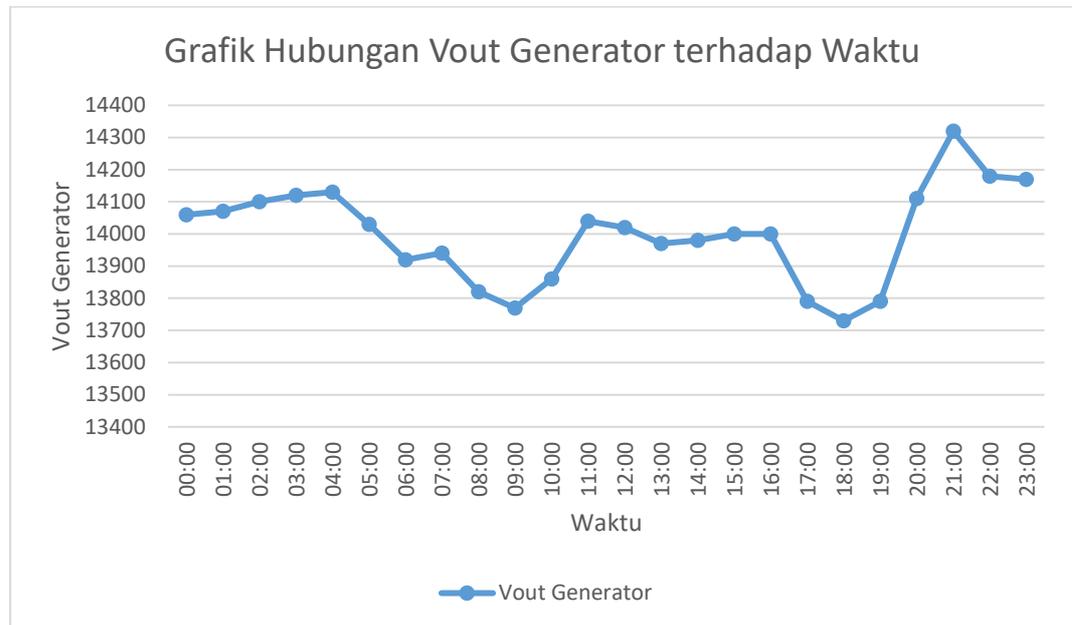


Gambar 4. 20 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Waktu Sabtu, 26 Januari 2019

Saat hari sabtu 26 Januari 2019 debit air terkecil terjadi pada pukul 19.00 sebesar 69,20 m<sup>3</sup>/detik, sedangkan debit air terbesar terjadi pada pukul 09.00 sebesar 70,20 m<sup>3</sup>/detik. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa debit air cenderung fluktuatif dari dini hari hingga malam hari. Hal tersebut memperlihatkan bahwa air yang digunakan untuk memutar turbin sehingga didapat kecepatan putar generator yang cukup untuk menstabilkan tegangan output generator terhadap beban konsumen yang berubah-ubah sepanjang hari.

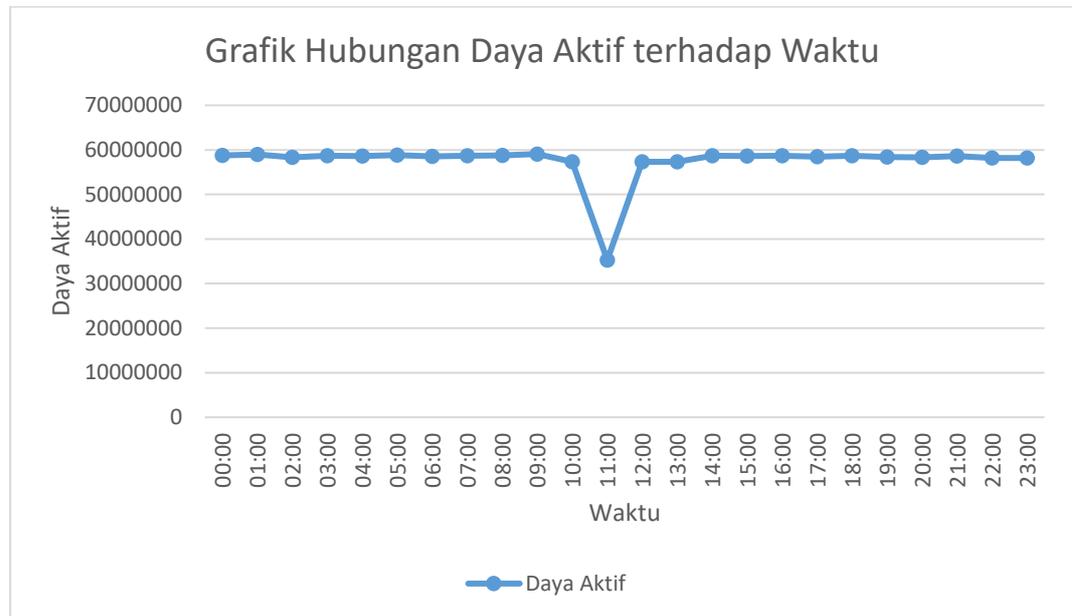
Tabel 4. 11 Data Operasi 27 Januari 2019

Waktu	Vout (V)	Daya Aktif (W)	Arus Eksitasi (mA)	Debit Air (dm <sup>3</sup> /detik)
00:00	14060	58770000	976330	69300
01:00	14070	58980000	966420	69800
02:00	14100	58360000	966770	69560
03:00	14120	58700000	973930	69760
04:00	14130	58630000	966610	69330
05:00	14030	58860000	966450	69510
06:00	13920	58550000	944460	69620
07:00	13940	58670000	946800	69660
08:00	13820	58730000	946700	69540
09:00	13770	59080000	939740	69330
10:00	13860	57300000	946800	69600
11:00	14040	35290000	958670	67810
12:00	14020	57340000	865460	41530
13:00	13970	57330000	976240	67900
14:00	13980	58680000	966420	67850
15:00	14000	58610000	974080	69070
16:00	14000	58660000	976580	69380
17:00	13790	58490000	986360	69320
18:00	13730	58660000	966490	69430
19:00	13790	58380000	966330	69630
20:00	14110	58310000	983860	69680
21:00	14320	58640000	1045360	69020
22:00	14180	58220000	1006050	69440
23:00	14170	58190000	1007150	68800



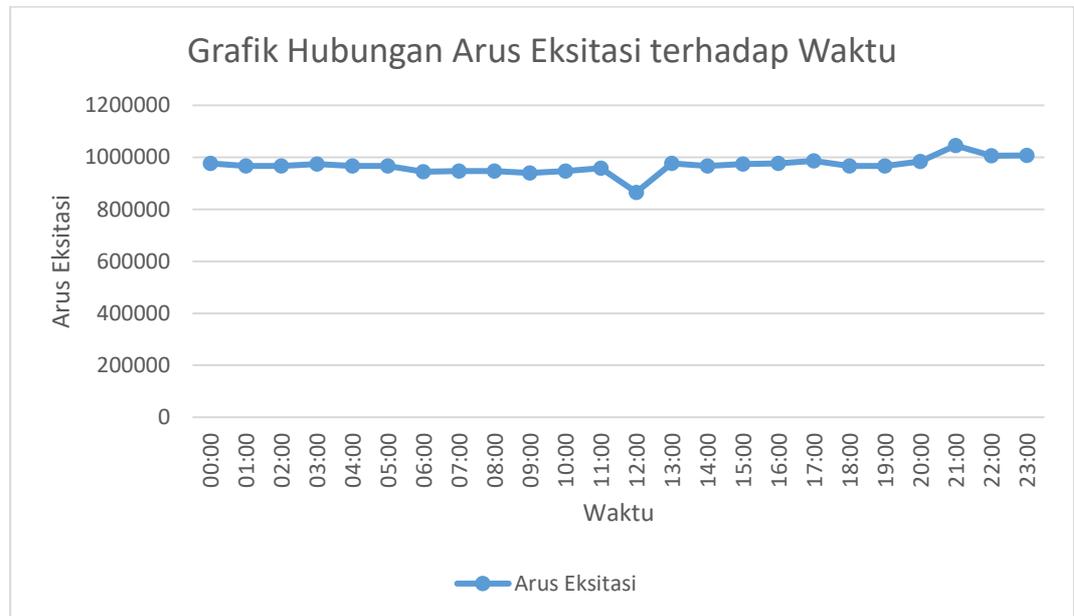
Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Vout Generator terhadap Waktu Minggu, 27 Januari 2019

Saat hari minggu tanggal 27 Januari 2019 tidak terjadi fluktuasi yang signifikan pada tegangan output. Pada pukul 18.00 tegangan pada nilai paling rendah sebesar 13,73 kV, sedangkan pada pukul 21.00 tegangan berada pada nilai paling tinggi sebesar 14,32 kV. Dari data tersebut terlihat bahwa tegangan cenderung lebih stabil dibandingkan dengan diluar hari libur. Fluktuasi terjadi ketika pagi dan sore hari. Hal tersebut dikarenakan beban yang masih berubah-ubah namun tidak terlalu besar.



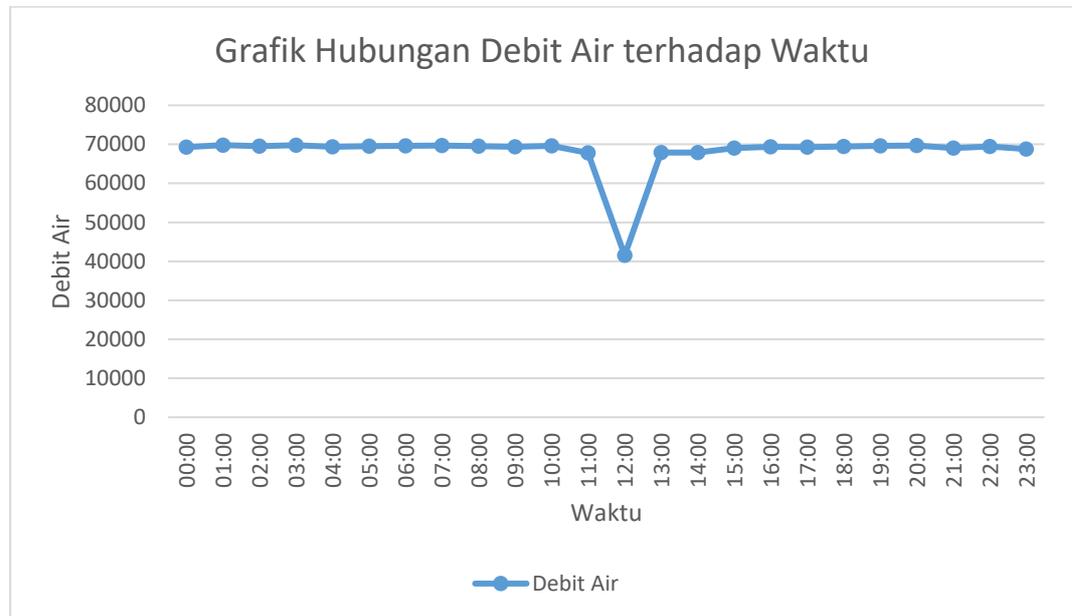
Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Daya Aktif terhadap Waktu Minggu, 27 Januari 2019

Saat hari minggu 27 Januari 2019 daya aktif cenderung stabil. Nilai terendah terjadi pada pukul 11.00 sebesar 35,29 MW, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada pukul 09.00 sebesar 59,08 MW. Beban cenderung stabil karena pemakain dari konsumen berkurang dan industri maupun perkantoran libur.



Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Arus Eksitasi terhadap Waktu Minggu, 27 Januari 2019

Saat hari minggu 27 Januari 2019 arus terkecil terjadi pada pukul 12.00 sebesar 865,46 A, sedangkan arus terbesar terjadi pada pukul 21.00 sebesar 1045,36 A. Pada hari itu arus eksitasi cenderung stabil, dikarenakan perubahan beban dari konsumen yang stabil.



Gambar 4. 24 Grafik Hubungan Debit Air terhadap Waktu Minggu, 27 Januari 2019

Saat hari minggu 27 Januari 2019 debit air terkecil terjadi pada pukul 12.00 sebesar 41,53 m<sup>3</sup>/detik, sedangkan debit air terbesar terjadi pada pukul 01.00 sebesar 69,80 m<sup>3</sup>/detik. Pada hari itu debit air yang didapat cenderung stabil, karena beban konsumen yang berkurang dan ketersediaan pasokan air yang cukup.

Dari hasil analisis terhadap waktu tersebut dapat dilihat setiap perubahan waktu terhadap tegangan, daya aktif arus eksitasi dan debit air. Diperlihatkan bahwa setiap hari terjadi perbedaan kondisi. Terlihat bahwa tegangan output cenderung stabil dan hanya terjadi fluktuasi disaat sore menjelang malam, karena penggunaan oleh konsumen terutama untuk penerangan. Kemudian di hari libur tegangan output cenderung lebih stabil dari hari lainnya.

Pada daya aktif terjadi fluktuasi yang cukup signifikan. Hal tersebut terjadi pada hari jumat dan sabtu. Namun pada hari minggu daya aktif lebih stabil. Dikarenakan pemakaian oleh konsumen yang berkurang juga pada hari libur. Pada arus eksitasi setiap waktu

terjadi perbedaan. Kemudian pada Pada dua hari yaitu jumat dan sabtu tersebut terjadi fluktuasi yang cukup signifikan, karena perubahan beban dari konsumen yang berubah-ubah. Namun pada hari minggu lebih stabil. Dikarenakan pemakaian oleh konsumen yang berkurang juga pada hari libur. Pada debit air juga terjadi fluktuasi pada dua hari tersebut yaitu jumat dan sabtu, karena perubahan beban dari konsumen tidak stabil. Namun pada hari minggu debit air yang digunakan juga stabil. Dikarenakan pemakaian oleh konsumen yang berkurang juga pada hari libur. Oleh karena itu, debit air sangat diperlukan untuk memutar kecepatan turbin yang berpengaruh terhadap stabilitas tegangan output generator.

### 4.3 Tegangan Regulasi

#### 4.4.1 Prosentase Tegangan Regulasi PLTA UP Mrica

Berubah-ubahnya tegangan output generator ( $V_{out}$ ) dapat dipengaruhi oleh beban yang berubah-ubah. Agar tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) mendekati ideal, maka diaturlah arus eksitasi ( $I_f$ ). Untuk mendapatkan nilai prosentase dari tegangan regulasi pada generator sinkron PLTA UP Mrica unit 2, maka digunakan rumus regulasi tegangan sebagai berikut.

$$VR = \left( \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\% \right)$$

$$V_{nl} = \sqrt{(V + I R_a)^2 + (I X_s)^2}$$

$$I = \frac{\text{daya (VA)}}{\text{tegangan (V)}}$$

Penggunaan rumus di atas, digunakan untuk melihat berapa susut tegangan (drop tegangan) yang terjadi.

$$I = \frac{67010 \text{ kVA}}{13800 \text{ V}}$$

$$I = 4855,79710 \text{ A}$$

$$I \cdot R_a = 4855,79710 \cdot 0,0083$$

$$I \cdot R_a = 40,30311$$

$$I \cdot X_S = 4855,79710 \cdot 0,22$$

$$I \cdot X_L = 1068,27536$$

$$V_{nl} = \sqrt{(13800 + 40,30311)^2 + (1068,27536)^2}$$

$$V_{nl} = \sqrt{192695203 + 1141212,25}$$

$$V_{nl} = 13881,4698 \text{ v}$$

Didapat nilai V tanpa beban ( $V_{nl}$ ) sebesar 13881,4698, kemudian dilakukan penghitungan untuk setiap waktu.

Data hari Jum'at 25 Januari 2019 pukul 00.00

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} VR &= \frac{13881,4698 - 13980}{13980} \times 100\% \\ &= -0,704793991\% \end{aligned}$$

Data hari Jum'at 25 Januari 2019 pukul 01.00

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} VR &= \frac{13881,4698 - 13970}{13970} \times 100\% \\ &= -0,633716535\% \end{aligned}$$

Data hari Sabtu 26 Januari 2019 pukul 00.00

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

$$VR = \frac{13881,4698 - 14190}{14190} \times 100\%$$

$$= -2,17427907\%$$

Data hari Sabtu 26 Januari 2019 pukul 01.00

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

$$VR = \frac{13881,4698 - 14010}{14010} \times 100\%$$

$$= -0,917417559\%$$

Data hari Minggu 27 Januari 2019 pukul 00.00

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

$$VR = \frac{13881,4698 - 14060}{14060} \times 100\%$$

$$= -1,269773826\%$$

Data hari Minggu 27 Januari 2019 pukul 01.00

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

$$VR = \frac{13881,4698 - 14070}{14070} \times 100\%$$

$$= -1,339944563\%$$

Untuk perhitungan hari dan jam selanjutnya dapat digunakan rumus yang sama. Perhitungan tersebut akan dibuatkan tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Data Prosentase Tegangan Regulasi Jumat 25 Januari 2019

<b>No.</b>	<b>Vt Tanpa Beban (V)</b>	<b>Vt Berbeban (V)</b>	<b>Prosentase Regulasi (%)</b>
1	13881,4698	13980	-0,704793991
2	13881,4698	13970	-0,633716535
3	13881,4698	13990	-0,775769836
4	13881,4698	13850	0,227218773
5	13881,4698	13860	0,154904762
6	13881,4698	13770	0,809511983
7	13881,4698	13690	1,398610665
8	13881,4698	13820	0,444788712
9	13881,4698	13580	2,219954345
10	13881,4698	14090	-1,479987225
11	13881,4698	14040	-1,129132479
12	13881,4698	14000	-0,846644286
13	13881,4698	14190	-2,17427907
14	13881,4698	14000	-0,846644286
15	13881,4698	13880	0,010589337
16	13881,4698	13920	-0,276797414
17	13881,4698	13990	-0,775769836
18	13881,4698	14070	-1,339944563
19	13881,4698	14090	-1,479987225
20	13881,4698	14150	-1,897739929
21	13881,4698	14170	-2,036204658
22	13881,4698	14220	-2,380662447
23	13881,4698	14220	-2,380662447
24	13881,4698	14270	-2,722706377

Tabel 4. 13 Data Prosentase Tegangan Regulasi Sabtu 26 Januari 2019

<b>No.</b>	<b>GGL Induksi (kV)</b>	<b>Vt (kV)</b>	<b>Prosentase Regulasi (%)</b>
1	13881,4698	14190	-2,17427907
2	13881,4698	14010	-0,917417559
3	13881,4698	14050	-1,199503203
4	13881,4698	14100	-1,549859574
5	13881,4698	14120	-1,689307365
6	13881,4698	13960	-0,562537249
7	13881,4698	13920	-0,276797414
8	13881,4698	14100	-1,549859574
9	13881,4698	13970	-0,633716535
10	13881,4698	13860	0,154904762
11	13881,4698	13860	0,154904762
12	13881,4698	14040	-1,129132479
13	13881,4698	14040	-1,129132479
14	13881,4698	14040	-1,129132479
15	13881,4698	14000	-0,846644286
16	13881,4698	14040	-1,129132479
17	13881,4698	14100	-1,549859574
18	13881,4698	14060	-1,269773826
19	13881,4698	13950	-0,491255914
20	13881,4698	13870	0,082695025
21	13881,4698	13900	-0,133310791
22	13881,4698	13960	-0,562537249
23	13881,4698	13990	-0,775769836
24	13881,4698	14050	-1,199503203

Tabel 4. 14 Data Prosentase Tegangan Regulasi Minggu 27 Januari 2019

<b>No.</b>	<b>GGL Induksi (kV)</b>	<b>Vt (kV)</b>	<b>Prosentase Regulasi (%)</b>
1	13881,4698	14060	-1,269773826
2	13881,4698	14070	-1,339944563
3	13881,4698	14100	-1,549859574
4	13881,4698	14120	-1,689307365
5	13881,4698	14130	-1,758883227
6	13881,4698	14030	-1,05866144
7	13881,4698	13920	-0,276797414
8	13881,4698	13940	-0,41987231
9	13881,4698	13820	0,444788712
10	13881,4698	13770	0,809511983
11	13881,4698	13860	0,154904762
12	13881,4698	14040	-1,129132479
13	13881,4698	14020	-0,988089872
14	13881,4698	13970	-0,633716535
15	13881,4698	13980	-0,704793991
16	13881,4698	14000	-0,846644286
17	13881,4698	14000	-0,846644286
18	13881,4698	13790	0,663305294
19	13881,4698	13730	1,103203205
20	13881,4698	13790	0,663305294
21	13881,4698	14110	-1,619632884
22	13881,4698	14320	-3,062361732
23	13881,4698	14180	-2,10529055
24	13881,4698	14170	-2,036204658

Dari tabel 4.12, tabel 4.13 dan tabel 4.14, dapat dilihat prosentase nilai regulasi tegangan pada generator sinkron PLTA UP Mrica unit 2. Dari nilai prosentase regulasi tegangan di atas, didapat nilai antara -3% hingga 2,2%. Saat tegangan regulasi (VR) bernilai negatif (-) menandakan beban bersifat kapasitif di mana tegangan output ( $V_{out}$ ) melebihi tegangan tanpa beban ( $V_{nl}$ ). Untuk beban kapasitif, maka arus akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ . Untuk menjaga agar tegangan output generator ini stabil pada nilai yang telah ditentukan, maka arus eksitasi yang diinjeksikan ke kumparan medan di rotor akan dikurangi.

Sedangkan saat tegangan regulasi (VR) bernilai (+) menandakan beban bersifat induktif di mana tegangan output ( $V_{out}$ ) kurang dari tegangan tanpa beban ( $V_{nl}$ ). Untuk beban induktif, arus akan tertinggal  $90^\circ$  dari tegangan. Agar tegangan keluaran generator ( $V_{out}$ ) menjadi stabil, maka dilakukan penambahan arus eksitasi yang diinjeksikan ke kumparan medan.