

## BAB IV HASIL DAN ANALISIS



Gambar 4.1 Lokasi PT. Indonesia Power PLTP Kamojang

Sumber: Google Map

Pada gambar 4.1 merupakan lokasi PT Indonesia Power Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Kamojang terletak di daerah perbukitan yang berbatasan langsung antara Kabupaten Garut dan Kabupaten Bandung berlokasi di Kampung Pangkalan, Desa Laksana Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat dengan alamat perusahaan yaitu komplek perumahan PLTP Kamojang kotak pos 125 Garut 44101.

Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Kamojang biasa disingkat UPJP Kamojang merupakan pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan energi panas bumi sebagai penggerak utama satu-satunya dan terbesar di Indonesia.

Pada pembahasan ini, dilakukan kegiatan pengumpulan dan pengolahan data yang terkait dengan materi penelitian. Data-data yang terkumpul kemudian di

olah untuk memperoleh hasil yang kemudian akan dibahas untuk dilakukan analisis. Berikut penjelasan pengolahan dan analisis data yang telah dikumpulkan.

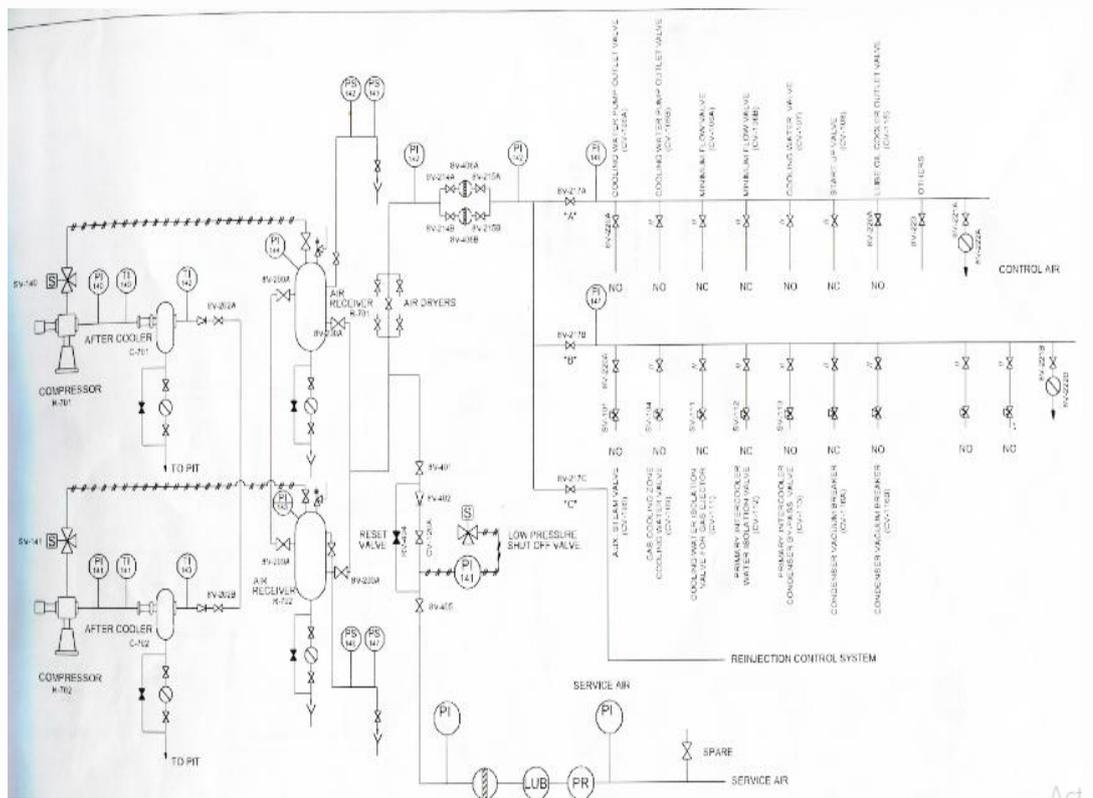
#### **4.1 Pengaruh Suhu Panas Bumi Terhadap Stabilitas Tegangan PLTP Unit 2 di UPJP Kamojang**

Data yang digunakan untuk pengolahan analisis stabilitas tegangan PLTP unit 2 adalah data operasi generator unit 2 pada tanggal tanggal 01 Januari 2016 sampai 30 Juni 2016. Pengolahan data dari operasi generator unit 2 ini meliputi temperatur udara dan air, tekanan air pendingin, tegangan keluaran yang dari generator terhadap waktu selama 24 jam. Berikut ini adalah penjelasan mengenai mekanisme kerja dan kapasitas pembangkit dan pengolahan data pengaruh suhu panas bumi terhadap stabilitas tegangan di PLTP unit 2 di UPJP Kamojang.

##### **4.1.1 Mekanisme Kerja dan Kapasitas Pembangkit PLTP di UPJP Kamojang**

Prinsip mekanisme kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) pada dasarnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yang membedakan antara PLTP dengan PLTU adalah pada PLTP uap berasal dari *reservoir* panas bumi sedangkan pada PLTU uap berasal dari *boiler* yang di buat di permukaan.

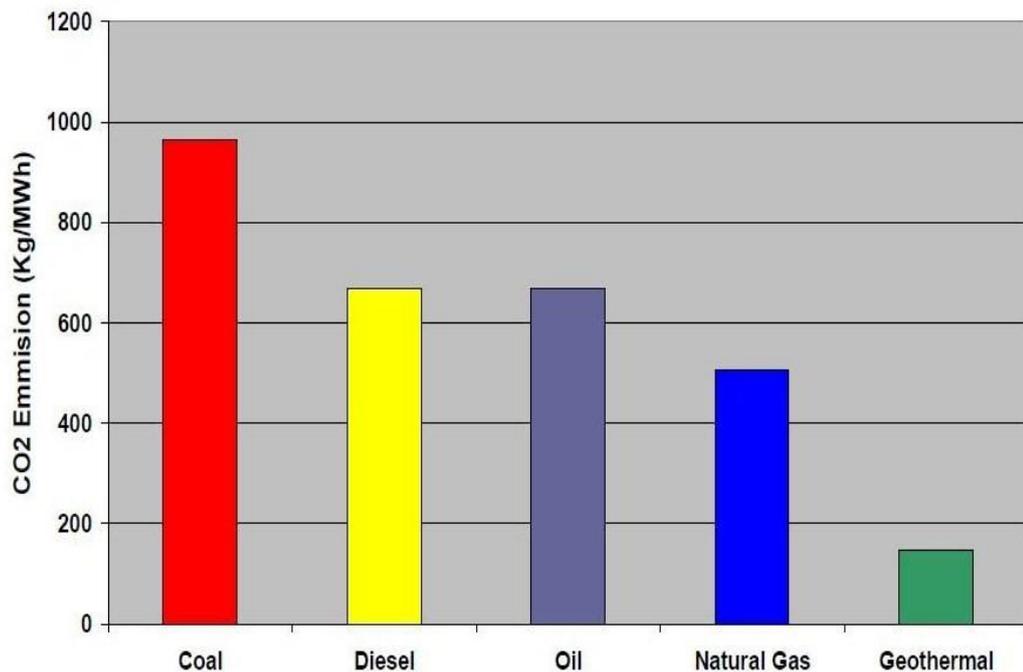
Pada PLTP di UPJP Kamojang, Pembangkit yang digunakan untuk mengkonversi *fluida geothermal* menjadi tenaga listrik secara umum mempunyai komponen yang sama dengan pembangkit-pembangkit lain yang bukan berbasis *geothermal*, yaitu terdiri dari generator, turbin sebagai penggerak generator, *heat exchanger*, *chiller*, pompa, dan lain sebagainya.



Gambar 4.2 Flow Diagram Kontrol dan Pengaturan Temperatur Udara di UPJP Kamojang

Sumber: *Manual Book Piping Diagram UPJP Kamojang*

Pada gambar 4.2 di atas merupakan flow diagram kontrol dan pengaturan temperatur udara Di Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Kamojang. Di UPJP Kamojang, pembangkit listrik tenaga panas bumi tidak hanya dapat beroperasi pada suhu tinggi, namun masih dapat beroperasi meskipun di suhu yang relatif rendah yaitu berkisar antara 122 s/d 482<sup>0</sup> F (50 s/d 250<sup>0</sup> C). Sehingga meskipun dengan kondisi suhu panas bumi yang rendah, uap panas bumi tetap bisa dimanfaatkan pada sistem pembangkitan sehingga stabilitas tegangan pada sistem pembangkit dapat terjaga pada kondisi stabil.



Source: IPCC and Indonesia's First Communication Report

Gambar 4.3 Emisi gas dari bermacam-macam pembangkit  
 Sumber: IPCC Indonesia's First Communication Report

Pada gambar 4.3 di atas menunjukkan salah satu keunggulan yang dimiliki oleh pembangkit listrik berbasis *geothermal*. Keuntungan lainnya ialah pembangkit listrik berbasis *geothermal* bersih dan aman, bahkan terbersih bila dibandingkan dengan nuklir, minyak bumi dan batu bara karena memiliki emisi gas lebih rendah dibandingkan pembangkit lainnya yaitu di bawah 200 Kg/MWh.

Selain itu, suhu panas bumi bila turun ke dalam perut bumi, dari permukaan bumi setiap 100 meter temperatur batu-batuan cair akan mengalami kenaikan suhu sekitar 30°C. Sehingga bila semakin jauh turun ke dalam perut bumi suhu batu-batuan maupun lumpur akan semakin tinggi. Temperatur batu-batuan dan lumpur suhu bisa mencapai 57-60°C pada kedalaman 1 kilometer dari permukaan bumi ke dalam perut bumi.

Di dalam kulit bumi ada kalanya aliran air dekat sekali dengan batu-batuan panas di mana temperatur dapat mencapai 148<sup>0</sup>C. Namun, air panas yang dekat dengan batu-batuan tersebut tidak menjadi uap (*steam*), hal tersebut diakibatkan oleh tidak adanya kontak secara langsung dengan udara. Apabila terjadi retakan muncul celah di kulit bumi yang mengakibatkan air panas tersebut keluar ke permukaan bumi, air panas yang muncul ke permukaan bumi tersebut itulah yang kemudian disebut dengan *hot spring*. Air panas dan *steam* inilah yang akan dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Agar panas bumi (*geothermal*) tersebut dapat di konversi menjadi energi listrik tentu diperlukan pembangkit (*power plants*).

DATA – DATA RESERVOIR	
URAIAN	KETERANGAN
Area reservoir:	300 MW
Potensi	14 – 21 Km
Luas area yang telah terbukti	2
Kapasitas total yang telah terbukti	200 MW
Kapasitas terpasang	140 MW
Data Fisik Reservoir:	23
Suhu	5 – 245 °C
Kualitas uap	96 % uap
Data Drilling:	68 buah
Jumlah sumur	500 – 2200 Meter
Kedalaman sumur	54.000 Kg/J
Produksi uap (Standar Completion)	

Gambar 4.4 Data mengenai *steam reservoir* pada sistem PLTP di UPJP Kamojang

Sumber: Spesifikasi Generator unit 2 UPJP Kamojang, 2016

Pada gambar 4.4 di atas merupakan data *steam reservoir* panas bumi di UPJP Kamojang. Namun, perlu diketahui suhu panas bumi juga dapat diklasifikasikan ke dalam dua golongan yaitu yang bersuhu rendah (*low*

*temperature*) dengan suhu kurang dari 150<sup>0</sup> C dan yang bersuhu tinggi (*high temperature*) dengan suhu di atas 150<sup>0</sup>. Seiring kemajuan dunia teknologi yang bersuhu rendah juga dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik asalkan suhunya di atas 50<sup>0</sup> C, namun tetap yang paling baik untuk digunakan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik adalah yang masuk kategori *high temperature*.

#### **4.1.2 Analisis Pengaruh Temperatur Udara, Air, dan Tekanan Air Pendingin Pembangkit Unit 2 Terhadap Stabilitas Tegangan di PLTP Kamojang**

Data yang digunakan untuk pengolahan data pengaruh temperatur udara, air, dan tekanan pembangkit unit 2 terhadap stabilitas tegangan di UPJP Kamojang adalah data operasi generator unit 2 pada tanggal 30 Juni 2016. Pengolahan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai perubahan tegangan dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi di pembangkit unit 2 UPJP Kamojang yang dipengaruhi temperatur udara, air, dan tekanan air pendingin pada sistem pembangkit (*power plants*). Dari pengolahan data, diperoleh data temperatur udara, air, tekanan air pendingin, dan perubahan keluaran tegangan yang didapatkan dari pembangkit unit 2 selama 24 jam yang berada di UPJP Kamojang.

Tabel 4.1 Data suhu udara, air, dan air tekanan pendingin pembangkit unit 2 di UPJP Kamojang

JAM	TEMPERATUR UDARA DAN AIR (°C)										Tek. Air Pendingin (Bar)	Tegangan (KV)
	Udara Masuk (T1 : 1301)	Air Pend Keluar (T1 : 2816)	Air Pend Masuk (T1 : 2833)	Air Pend Masuk (T1 : 2835)	Air Pend Keluar (T1 : 2817)	Udara Keluar (T1 : 1302)	Air Pend Keluar (T1 : 2818)	Air Pend Masuk (T1 : 2835)	Air Pend Masuk (T1 : 2836)	Air Pend Keluar (T1 : 2819)		
00:00	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
01:00	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
02:00	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
03:00	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
04:00	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,78
05:00	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,79
06:00	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,79
07:00	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,79
08:00	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,79
09:00	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,8
10:00	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,79
11:00	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,82
12:00	47,7	40	39	43,5	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,82
13:00	47,7	42,5	40	39	43,1	72	41	37,1	38,8	38,5	3	11,7
14:00	47,7	42,5	40	39	43,1	72	41	37,1	38,8	38,5	3	11,78
15:00	47,7	42,5	40	39	43,1	72	41	37,1	38,8	38,5	3	11,78
16:00	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,79
17:00	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,78
18:00	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,79
19:00	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,78
20:00	47,5	43	39,5	39	43,5	73	41,5	37,5	38,5	38,5	3	11,78
21:00	47,5	43	39,5	39	43,5	73	41,5	37,5	38,5	38,5	3	11,78
22:00	47,5	43	39,5	39	43,5	73	41,5	37,5	38,5	38,5	3	11,78
23:00	47,5	42,5	39,5	38,5	43,5	73	41	37	38,5	38,5	3,1	11,78
00:00	47,5	42,5	39,5	38,5	43,5	73	41	37	38,5	38,5	3,1	11,79

Sumber: Hasil Data Generator Unit 2 dari Ruang Operator dan Pengamatan di UPJP Kamojang

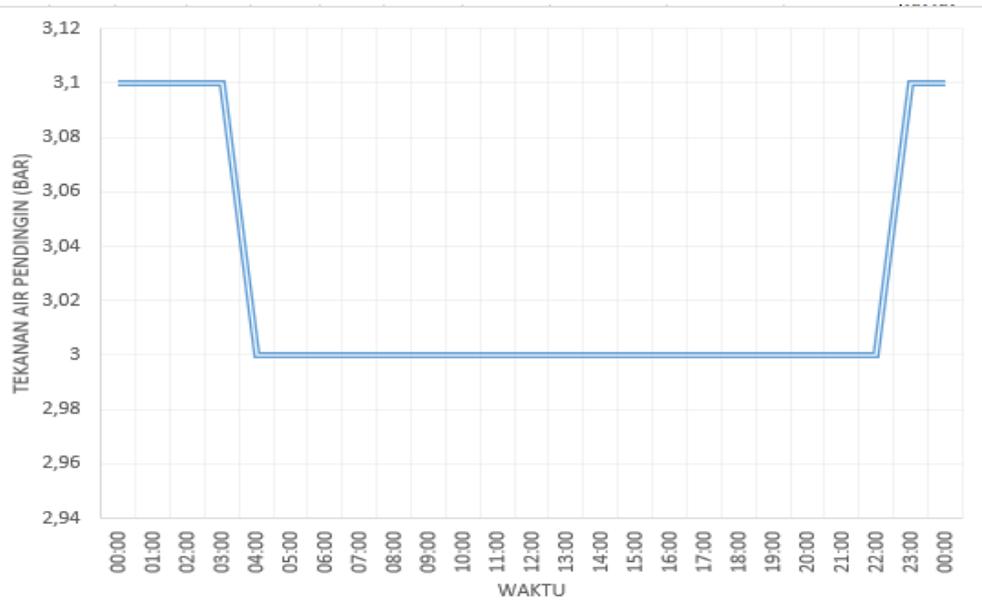
Pada data tabel 4.1 di atas, kemudian dibuat tabel data mengenai perubahan tekanan air pendingin terhadap perubahan waktu selama 24 jam yang dihasilkan

oleh generator pada unit 2 sebagai akibat dari suhu udara atau panas bumi yang seringkali berubah-ubah.

Tabel 4.2 Data tekanan air pendingin pembangkit unit 2 di UPJP Kamojang

<b>Waktu</b>	<b>Tekanan Air Pendingin (Bar)</b>
00:00	3,1
01:00	3,1
02:00	3,1
03:00	3,1
04:00	3
05:00	3
06:00	3
07:00	3
08:00	3
09:00	3
10:00	3
11:00	3
12:00	3
13:00	3
14:00	3
15:00	3
16:00	3
17:00	3
18:00	3
19:00	3
20:00	3
21:00	3
22:00	3
23:00	3,1
00:00	3,1

Pada tabel 4.2 di atas, tekanan air pendingin dijaga agar tetap stabil pada kisaran 3 bar, tentunya tekanan tersebut dijaga agar tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit bisa stabil pada kisaran 11,8 KV. Kemudian dibuat grafik hubungan antara tekanan air pendingin (bar) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan dari generator unit 2.



Gambar 4.5 Grafik tekanan air pendingin PLTP di UPJP Kamojang terhadap perubahan waktu.

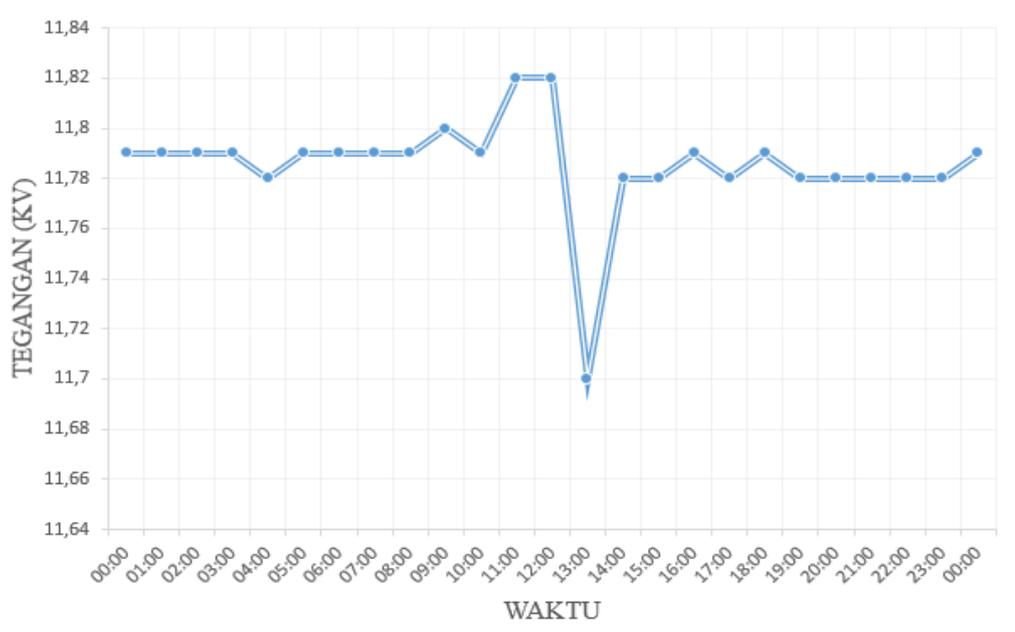
Pada gambar 4.5 di atas, grafik tersebut menunjukkan bahwa tekanan air pendingin paling tinggi adalah pada pukul 23.00-03.00 WIB sedangkan kondisi tekanan air pendingin terendah adalah pada pukul 04.00-22.00 WIB. Hal tersebut dapat terjadi karena beban yang sedang digunakan oleh pengguna listrik pada interval waktu 04.00-22.00 WIB lebih rendah di banding pada pukul 23.00-03.00 WIB, sehingga untuk menjaga stabilitas tegangan tetap terjaga maka tekanan air pendingin dijaga agar sesuai dengan kebutuhan beban yang sedang digunakan.

Karena tegangan pada pembangkit dijaga agar tetap stabil pada kondisi yang diharapkan, yaitu pada kisaran 11,8 KV. Apabila melebihi batas tersebut maka akan terjadi kerusakan atau meledaknya pembangkit yang biasanya diakibatkan oleh tingginya beban berlebih atau temperatur suhu panas bumi yang melebihi ambang batas. Berikut adalah perubahan data tegangan yang telah tercatat dari mulai jam 00.00-00.00 WIB.

Tabel 4.3 Data perubahan tegangan yang didapatkan dari pembangkit unit 2 selama 24 jam di UPJP Kamojang

<b>Waktu</b>	<b>Tegangan (KV)</b>
00:00	11,79
01:00	11,79
02:00	11,79
03:00	11,79
04:00	11,78
05:00	11,79
06:00	11,79
07:00	11,79
08:00	11,79
09:00	11,8
10:00	11,79
11:00	11,82
12:00	11,82
13:00	11,7
14:00	11,78
15:00	11,78
16:00	11,79
17:00	11,78
18:00	11,79
19:00	11,78
20:00	11,78
21:00	11,78
22:00	11,78
23:00	11,78
00:00	11,79

Dari tabel 4.3, dibuat grafik hubungan antara perubahan tegangan (KV) terhadap waktu yang dihasilkan oleh generator unit 2 dari pukul 00.00-00.00 WIB.



Gambar 4.6 Grafik perubahan stabilitas tegangan pembangkit unit 2 PLTP di UPJP Kamojang selama 24 jam

Pada gambar 4.6, grafik data di atas menunjukkan bahwa kondisi tegangan terendah adalah pada saat pukul 13.00 WIB dan tertinggi pada pukul 11.00-12.00 WIB, hal tersebut memperlihatkan kondisi penurunan tegangan yang terindikasi pada waktu tersebut terjadi karena suplai uap panas ke dalam pembangkit lebih rendah pada waktu tersebut dengan rentan-rentan waktu lainnya, sedangkan pada pukul 11.00-12.00 WIB titik puncak tegangan terjadi karena pada waktu tersebut suplai uap panas ke pembangkit sedang tinggi dibandingkan dengan waktu-waktu lainnya, sehingga grafik tegangan berada pada titik puncak, berbeda pada saat pukul 13.00 WIB yang berada titik grafik rendah tegangan, ini dikarenakan pada waktu tersebut dan dibandingkan dengan rentan-rentan waktu lainnya suplai uap panas ke pembangkit sedang rendah, tetapi masih dalam kondisi aman karena masih pada batas kondisi standar tegangan yaitu 11,8 KV.

Dengan demikian didapatkan temperatur udara, air, air tekanan pendingin di jaga agar tetap konstan untuk menghasilkan output tegangan yang stabil. Kondisi temperatur yang sering berubah-ubah akan berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut. Dalam hal ini agar tegangan yang dihasilkan pembangkit tetap stabil, dilakukan upaya-upaya untuk menjaga agar putaran generator tetap stabil pada kecepatan 3000 rpm. dengan arusnya sebesar 3 fasa, dan frekuensi 50 Hz sehingga tegangan yang dihasilkan tetap stabil yaitu sekitar 11,8 KV. Oleh karena itu, untuk menjaga stabilitas tegangan pada pembangkit yang dihasilkan tetap stabil dilakukan upaya-upaya agar temperatur udara, air, dan air tekanan pendingin tetap stabil yaitu dari pihak UPJP Kamojang melakukan monitoring secara berkala, biasanya dilakukan setiap seminggu sekali. Monitoring tersebut dilakukan untuk mengecek secara berkala terhadap kinerja keandalan sistem pembangkit yang berada di UPJP Kamojang. Nantinya dengan pengecekan yang dilakukan secara berkala tersebut akan diperoleh data-data yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kualitas dan keandalan dari sistem pembangkitan yang berada di area UPJP Kamojang.

Selain itu data-data tersebut juga akan digunakan untuk memantau kinerja pembangkit yang beroperasi di UPJP Kamojang dalam menjaga stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh suatu pembangkit (*power plants*). Selain itu, data tersebut dipakai untuk melakukan upaya-upaya perawatan serta tindak lanjut dalam menangani permasalahan yang ada pada sistem pembangkit yang dapat mengganggu stabilitas tegangan, dimana upaya-upaya ini dilakukan juga untuk menghindari terjadinya vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada turbin yang akan mengganggu sistem pembangkit PLTP yang beroperasi di UPJP Kamojang

yang berdampak pada rusaknya peralatan pembangkit tersebut. Data tersebut juga dijadikan acuan untuk melakukan pengecekan kualitas dan umur kinerja suatu pembangkit yang beroperasi di wilayah UPJP Kamojang. Hal ini penting dilakukan untuk menjaga stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit agar tetap stabil dan menjaga keselamatan para pekerja yang bekerja di area UPJP Kamojang dari bahaya kecelakaan kerja yang sewaktu-waktu dapat terjadi, seperti meledaknya pembangkit dikarenakan naiknya temperatur dikarenakan beban yang berlebih.

#### **4.2 Kualitas Stabilitas Tegangan PLTP Unit 2 di UPJP Kamojang Pada Saat Suhu Panas Bumi Berubah-ubah dan Beban Berubah-ubah Secara Bersamaan**

Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui perubahan tegangan yang dihasilkan oleh generator unit 2 saat suhu panas bumi berubah-ubah dan beban yang berubah-ubah secara bersamaan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini diperoleh data berupa beban (MW), tekanan air pendingin (Bar), dan tegangan keluaran terhadap waktu yang dihasilkan oleh generator unit 2. Berikut ini adalah penjelasan mengenai hasil analisis data stabilitas tegangan PLTP unit 2 di UPJP Kamojang pada saat suhu panas bumi berubah-ubah dan beban yang berubah-ubah.

##### **4.2.1 Hasil Analisis Data Stabilitas Tegangan PLTP Unit 2 di UPJP Kamojang Pada Saat Suhu Panas Bumi Berubah dan Beban Berubah-ubah**

Beberapa faktor yang mempengaruhi stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit (*power plants*) salah satunya adalah suhu panas bumi dan beban yang sering kali berubah-ubah. Kondisi yang sering berubah-ubah tersebut rentan membuat pembangkit menjadi rusak atau sistem pembangkitan terganggu sehingga akan berpengaruh kepada kontinuitas stabilitas energi listrik terutama stabilitas tegangan. Pada data tabel berikut ini didapatkan data tegangan dari generator unit

2 pada tanggal 30 Juni 2016 pada saat suhu panas bumi dan beban yang sering kali berubah-ubah selama 24 jam.

Tabel 4.4 Data tegangan pada saat suhu panas bumi berubah dan beban berubah-ubah selama 24 jam

JAM	Beban (MW)	TEMPERATUR UDARA DAN AIR (°C)										Tek. Air Pendingin (Bar)	Tegangan (KV)
		Udara Masuk (T1 : 1301)	Air Pend Keluar (T1 : 2816)	Air Pend Masuk (T1 : 2833)	Air Pend Masuk (T1 : 2835)	Air Pend Keluar (T1 : 2817)	Udara Keluar (T1 : 1302)	Air Pend Keluar (T1 : 2818)	Air Pend Masuk (T1 : 2835)	Air Pend Masuk (T1 : 2836)	Air Pend Keluar (T1 : 2819)		
00:00	50,9	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
01:00	50,7	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
02:00	50,9	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
03:00	51,1	48	43,5	40	39,5	44,5	74,5	41,5	37,5	39	39,5	3,1	11,79
04:00	51	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,78
05:00	50,9	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,79
06:00	51	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,79
07:00	51,3	47,5	43	40	39	43,5	73,5	42	37	39	38,5	3	11,79
08:00	50,9	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,79
09:00	49,8	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,8
10:00	49,6	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,79
11:00	49,4	47,7	42,9	40	39	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,82
12:00	50,3	47,7	40	39	43,5	43,5	73	41	37,4	38,9	39	3	11,82
13:00	49,8	47,7	42,5	40	39	43,1	72	41	37,1	38,8	38,5	3	11,7
14:00	49,6	47,7	42,5	40	39	43,1	72	41	37,1	38,8	38,5	3	11,78
15:00	49,4	47,7	42,5	40	39	43,1	72	41	37,1	38,8	38,5	3	11,78
16:00	49,5	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,79
17:00	50,1	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,78
18:00	50,4	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,79
19:00	51	48	43	40	39,5	43,5	72,5	41	37,5	39	39	3	11,78
20:00	51,1	47,5	43	39,5	39	43,5	73	41,5	37,5	38,5	38,5	3	11,78
21:00	51,1	47,5	43	39,5	39	43,5	73	41,5	37,5	38,5	38,5	3	11,78
22:00	51,5	47,5	43	39,5	39	43,5	73	41,5	37,5	38,5	38,5	3	11,78
23:00	52	47,5	42,5	39,5	38,5	43,5	73	41	37	38,5	38,5	3,1	11,78
00:00	52	47,5	42,5	39,5	38,5	43,5	73	41	37	38,5	38,5	3,1	11,79

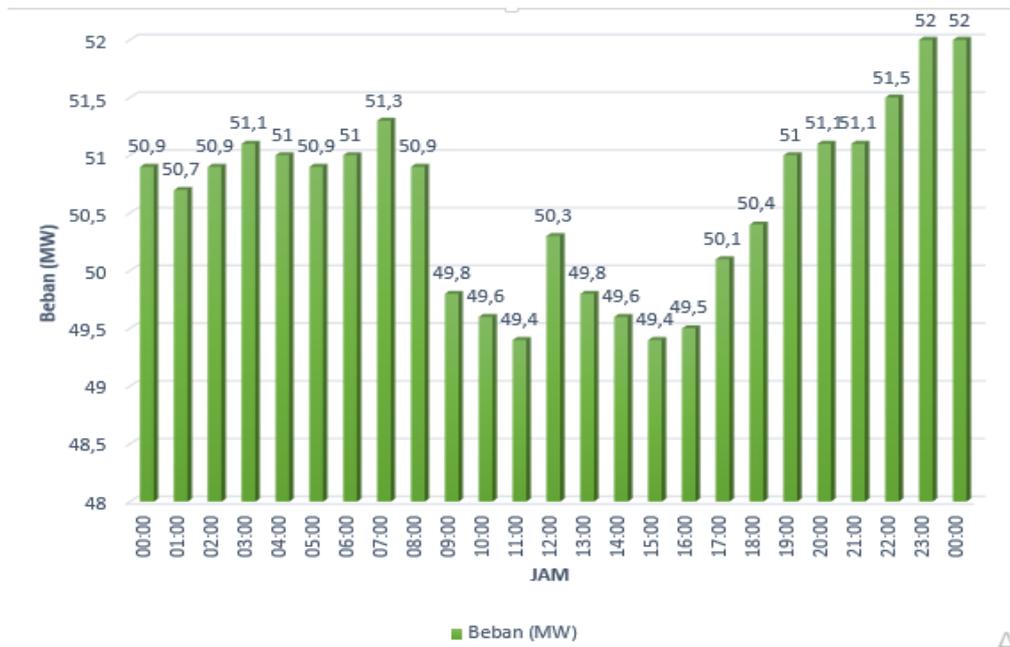
Sumber: Hasil Data Generator Unit 2 dari Ruang Operator dan Pengamatan di UPJP Kamojang

Pada data tabel 4.4 di atas, kemudian dibuat tabel data mengenai analisis perubahan beban terhadap stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh generator unit 2 dengan perubahan waktu selama 24 jam.

Tabel 4.5. Data tegangan dan kondisi beban dari pukul 00.00-00.00 WIB

<b>Jam</b>	<b>Beban (MW)</b>	<b>Tegangan (KV)</b>
00:00	50,9	11,79
01:00	50,7	11,79
02:00	50,9	11,79
03:00	51,1	11,79
04:00	51	11,78
05:00	50,9	11,79
06:00	51	11,79
07:00	51,3	11,79
08:00	50,9	11,79
09:00	49,8	11,8
10:00	49,6	11,79
11:00	49,4	11,82
12:00	50,3	11,82
13:00	49,8	11,7
14:00	49,6	11,78
15:00	49,4	11,78
16:00	49,5	11,79
17:00	50,1	11,78
18:00	50,4	11,79
19:00	51	11,78
20:00	51,1	11,78
21:00	51,1	11,78
22:00	51,5	11,78
23:00	52	11,78
00:00	52	11,79

Dari data tabel 4.5 di atas, kemudian dibuat grafik hubungan antara perubahan beban (MW) terhadap waktu yang dihasilkan oleh generator unit 2 yang dapat mempengaruhi stabilitas tegangan dari pukul 00.00-00.00 WIB.



Gambar 4.7 Grafik kondisi beban pada pukul 00.00-00.00 WIB

Pada gambar 4.7 data grafik di atas kondisi beban terendah terjadi pada pukul 11.00 dan 15.00 WIB sebesar 49,4 MW, hal tersebut memperlihatkan bahwa pada jam tersebut penggunaan beban adalah paling rendah, sedangkan beban puncak terjadi pada pukul 23.00 dan 00.00 WIB pada saat jam tersebut beban banyak terpakai. Pada pembangkit di UPJP Kamojang tegangan dijaga agar tidak berubah-ubah secara fluktuatif meskipun terjadi perbedaan yang tidak terlalu jauh, menyesuaikan dengan besaran beban yang terpakai, itu dilakukan sebagai langkah upaya yang dilakukan oleh UPJP Kamojang sebagai penyedia jasa energi listrik untuk menjaga stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh UPJP Kamojang. Dapat dilihat pada bahwa kondisi beban paling tinggi adalah pada saat pukul 23.00 WIB yaitu sebesar 52 MW dengan besar tegangan 11,79 KV. Hal tersebut memperlihatkan pemakaian beban akan meningkat pada jam-jam tersebut dikarenakan banyak beban yang terpakai dibandingkan dengan siang hari yang cenderung beban yang dipakai lebih rendah yaitu sebesar 49,4 MW pada pukul

15.00 WIB dengan besar tegangan 11,78 KV, hal tersebut terlihat bahwa jumlah pemakaian beban pada siang hari lebih kecil bila dibandingkan dengan malam hari. Selain itu, beban yang sering kali berubah-ubah juga mengganggu kontinuitas energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit sehingga pembangkit rentan mengalami gangguan.

Selanjutnya dibuat tabel data mengenai analisis pengaruh tekanan air pendingin terhadap stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh generator unit 2 dengan perubahan waktu selama 24 jam. Dimana suhu menjadi salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh suatu pembangkit. Berikut adalah data tekanan air pendingin terhadap stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh generator unit 2 di UPJP Kamojang.

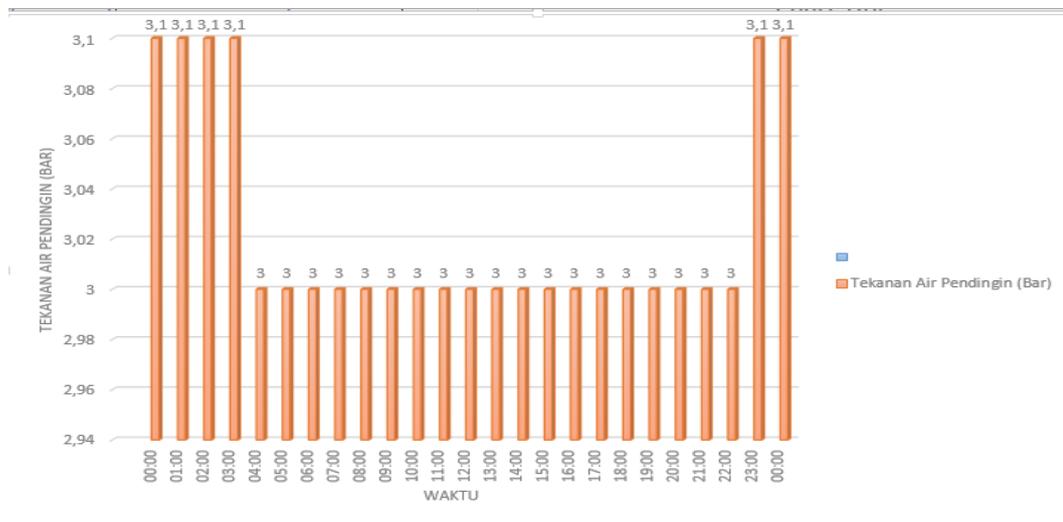
Tabel 4.6 Data tekanan air pendingin dan tegangan yang dihasilkan dari pukul 00.00-00.00 WIB

<b>Jam</b>	<b>Tekanan Air Pendingin (Bar)</b>	<b>Tegangan (KV)</b>
00:00	3,1	11,79
01:00	3,1	11,79
02:00	3,1	11,79
03:00	3,1	11,79
04:00	3	11,78
05:00	3	11,79
06:00	3	11,79
07:00	3	11,79
08:00	3	11,79
09:00	3	11,8
10:00	3	11,79
11:00	3	11,82
12:00	3	11,82
13:00	3	11,7
14:00	3	11,78
15:00	3	11,78

Lanjutan Tabel 4.6

Jam	Tekanan Air Pendingin (Bar)	Tegangan (KV)
16:00	3	11,79
17:00	3	11,78
18:00	3	11,79
19:00	3	11,78
20:00	3	11,78
21:00	3	11,78
22:00	3	11,78
23:00	3,1	11,78
00:00	3,1	11,79

Dari data tabel 4.6, dibuat grafik hubungan antara pengaruh tekanan air pendingin (Bar) terhadap waktu yang dihasilkan oleh generator unit 2 yang dapat mempengaruhi stabilitas tegangan dari pukul 00.00-00.00 WIB.



Gambar 4.8 Grafik tekanan air pendingin dari pukul 00.00-00.00 WIB

Pada gambar 4.8 data grafik di atas menunjukkan bahwa besarnya nilai tekanan air pendingin dijaga agar tetap pada kisaran 3 bar, hal ini berarti memperlihatkan besarnya pengaruh suhu tekanan terhadap energi listrik yang dihasilkan terutama yaitu kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh generator.

Data di atas memperlihatkan bahwa posisi tekanan (bar) tertinggi adalah waktu tengah malam hari hingga dini hari yaitu pada pukul 23.00-03.00 WIB yang dimana banyak beban digunakan berbeda dengan pagi hari hingga menjelang malam yaitu pada pukul 04.00-22.00 WIB yang lebih relatif rendah di mana nilai pengguna listrik cukup rendah. Hal tersebut memperlihatkan bahwa besaran nilai bar dapat dipengaruhi oleh penggunaan konsumen yang dapat dilihat dari rentan waktu penggunaan yang biasa digunakan oleh pelanggan.

Dengan data tersebut menunjukkan bahwa dari jam 00.00-00.00 WIB dengan kondisi suhu panas bumi berubah-ubah dan beban yang berubah-ubah dapat mempengaruhi stabilitas tegangan pada pembangkit. Namun, kondisi beban dan suhu panas bumi dijaga agar tetap stabil supaya energi listrik yang dihasilkan tetap stabil, yaitu dengan putaran generator 3000 rpm, frekuensi 50 Hz, dan tegangan pada 11,8 KV. Apabila suhu panas bumi dan beban tidak stabil, maka akan menyebabkan kerusakan pada sistem pembangkit seperti meledaknya pembangkit pada PLTP.

Selain itu, dengan adanya data beserta grafik juga berfungsi sebagai indikator kinerja kelayakan suatu pembangkit listrik tenaga panas bumi, data dan grafik tersebut juga dapat digunakan untuk monitoring berkala sebagai tindak lanjut perawatan yang akan dilakukan pada pembangkit untuk menjaga dari bahaya kondisi kerja yang tiba-tiba dapat terjadi yang diakibatkan oleh suhu panas panas bumi dan beban yang tiba-tiba berubah sewaktu-waktu.

### 4.3 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Stabilitas Tegangan Output Generator Unit 2 di UPJP Kamojang

Data yang digunakan untuk pengolahan data pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan output generator pembangkit unit 2 adalah operasi generator pada tanggal 3 Juni 2016. Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada pembangkit unit 2 di Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan (UPJP) Kamojang. Dari pengolahan data ini akan diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus eksitasi terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator pada pembangkit unit 2. Berikut adalah hasil pengolahan data yang ditunjukkan oleh pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator pembangkit unit 2.

Tabel 4.7 Data arus eksitasi terhadap tegangan output generator pada pembangkit unit 2 di UPJP Kamojang

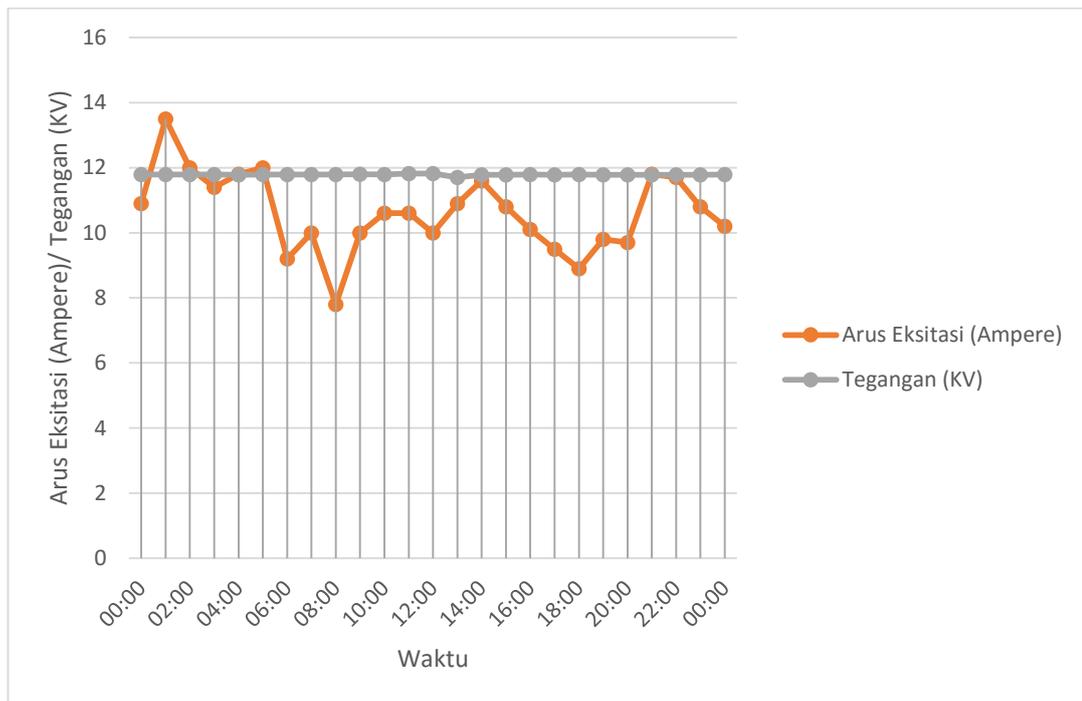
Jam	Arus Eksitasi (Ampere)	Tegangan (KV)
00:00	10,9	11,79
01:00	13,5	11,79
02:00	12	11,79
03:00	11,4	11,79
04:00	11,8	11,78
05:00	12	11,79
06:00	9,2	11,79
07:00	10	11,79
08:00	7,8	11,79
09:00	10	11,8
10:00	10,6	11,79

Lanjutan Tabel 4.7

<b>Jam</b>	<b>Arus Eksitasi (Ampere)</b>	<b>Tegangan (KV)</b>
11:00	10,6	11,82
12:00	10	11,82
13:00	10,9	11,7
14:00	11,6	11,78
15:00	10,8	11,78
16:00	10,1	11,79
17:00	9,5	11,78
18:00	8,9	11,79
19:00	9,8	11,78
20:00	9,7	11,78
21:00	11,8	11,78
22:00	11,7	11,78
23:00	10,8	11,78
00:00	10,2	11,79
<b>Rata-Rata</b>	<b>10,624</b>	<b>11,7856</b>

Dari data tabel 4.7 di atas didapatkan bahwa arus eksitasi maksimum yang diberikan ke generator pada unit 2 adalah 13,5 Ampere (01.00 WIB) dan arus eksitasi minimum yang diberikan oleh generator pada unit 2 adalah sebesar 7,8 Ampere (08.00 WIB). Sedangkan arus eksitasi rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 2 adalah 10,624 Ampere dengan rata-rata tegangan sebesar 11,7856 KV. Data tersebut menunjukkan bahwa arus eksitasi yang

diberikan ke generator pada unit 2 dapat mempengaruhi kestabilan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator pada unit 2. Kemudian akan dibuat grafik hubungan antara pengaruh arus eksitasi terhadap stabilitas tegangan yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara arus eksitasi terhadap stabilitas tegangan generator pada unit 2 di UPJP Kamojang.

Dari gambar 4.9 di atas seharusnya menunjukkan bahwa arus eksitasi menentukan kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh generator pada unit 2. Akan tetapi, terjadi penurunan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 yaitu hampir sebesar 0,12 KV, dari 11,82 KV menjadi 11,7 KV (terjadi pada pukul 12.00-13.00 WIB). Penurunan tegangan output ini dianggap tidak bermasalah karena masih di atas batas minimal dari tegangan output yang telah ditentukan yaitu sebesar 11 KV.

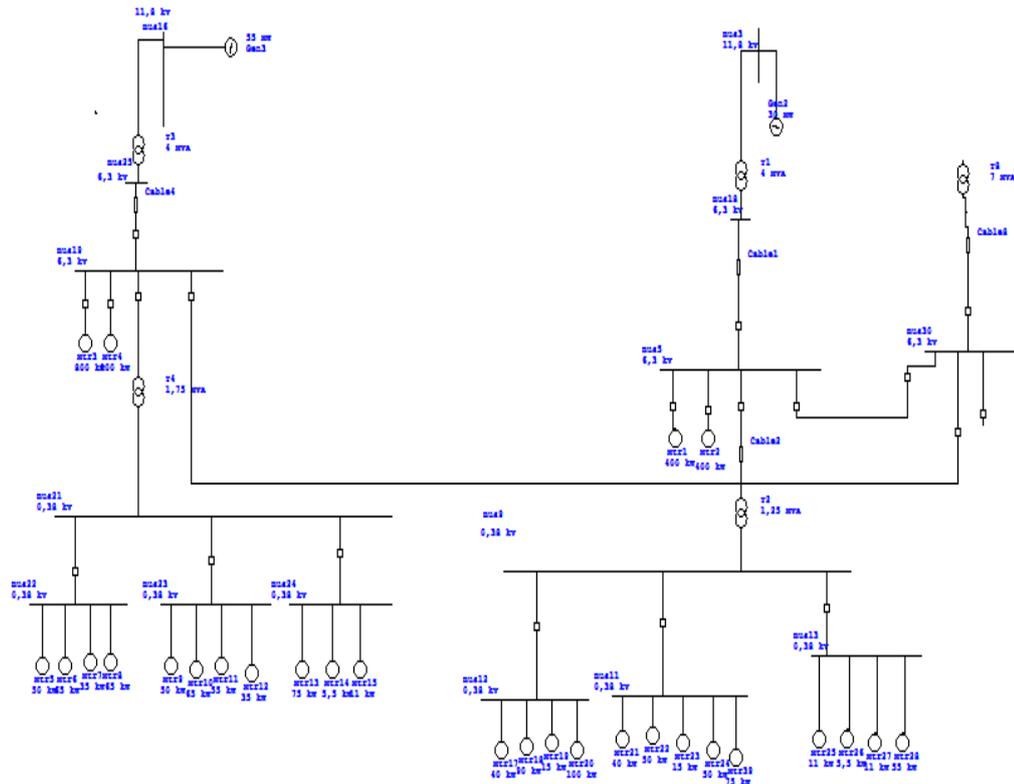
#### **4.4 Simulasi Aliran Tegangan Pembangkit Unit 2 di UPJP Kamojang**

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui aliran tegangan yang dihasilkan oleh sistem keseluruhan pembangkit, namun karena yang dianalisis adalah pembangkit unit 2 sehingga perubahan tegangan yang dianalisis adalah pada pembangkit unit 2 yang kemudian diinterkoneksi dengan pembangkit unit 1.

Sebelum dibuat simulasi diperlukan *single line diagram* pembangkit PLTP di UPJP Kamojang yang menunjukkan konfigurasi sistem keseluruhan pembangkit dan data yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas tegangan pada pembangkit unit 2 adalah beban pemakaian sendiri.

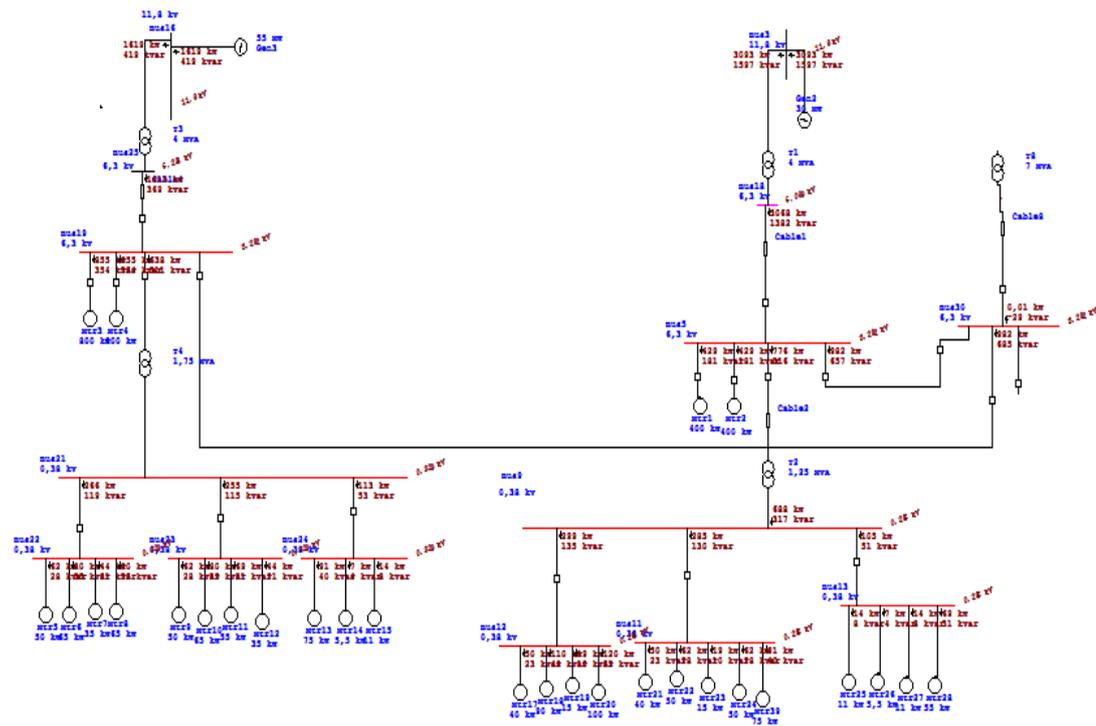


Pada gambar 4.10 *single line diagram* sistem tenaga listrik PLTP di UPJP Kamojang lalu direpresentasikan ke dalam pemodelan sistem tenaga menggunakan *software* ETAP, sehingga dapat mewakili sistem tenaga listrik di UPJP Kamojang, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 4.11 Representasi simulasi pembangkitan di UPJP Kamojang

Dari gambar 4.11 di atas, kemudian representasi simulasi pembangkitan di UPJP Kamojang disimulasikan untuk mengetahui aliran tegangan yang dihasilkan oleh generator unit 2 yang diinterkoneksi dengan generator unit 1.



Gambar 4.12 Hasil simulasi representasi simulasi pembangkitan di UPJP Kamojang

Pada gambar 4.12 di atas yang menunjukkan hasil simulasi aliran tegangan pada pembangkit unit 2 di UPJP Kamojang, rangkaian yang direpresentasikan adalah antara generator unit 2 dan generator unit 1 yang dirangkai secara interkoneksi menggunakan ETAP 12.6. Pada simulasi ini, parameter yang diamati adalah profil tegangan.

Data beban adalah beban yang berasal dari single line diagram yang didapatkan dari pihak UPJP Kamojang, dengan begitu beban disesuaikan dengan data asli. Selanjutnya aliran daya yang dibutuhkan beban disuplai dari generator unit 1 dan generator unit 2 yang dirangkai secara interkoneksi. Kemudian pada busbar memiliki variasi beban di *load point* yang disesuaikan dengan data yang didapatkan dari single line diagram PLTP Kamojang yaitu beban internal yang berupa motor-motor listrik.

Kapasitas beban yang terpasang saat simulasi menggunakan ETAP 12.6 pada generator unit 1 dan generator unit 2 yang diinterkoneksi yaitu berdasarkan data yang didapatkan dari single line diagram PLTP Kamojang. Hal tersebut dikarenakan dalam melakukan analisis, kita terlebih dahulu harus mengetahui single line diagram yang akan disimulasikan. Sehingga nantinya simulasi yang diperoleh dapat sesuai dengan data yang diharapkan.

Kemudian pada gambar 4.12 di atas tentang hasil simulasi aliran profil tegangan pembangkit unit 2 di UPJP Kamojang menggunakan *software* ETAP 12.6, dimana nilai drop tegangan dapat didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V_{\text{drop}} = \text{Tegangan Nominal di Bus Sumber Daya (V}_S\text{)} - \text{Tegangan Nominal di Bus Pengamatan (V}_{\text{ukur}}\text{)}.$$

Misalnya, di Bus 11 tegangannya adalah 0,296 KV dan Tegangan Nominal di Bus Sumber Daya (V<sub>S</sub>) adalah 0,38 KV.

$$\text{Maka, } V_{\text{drop}} = 0,38 \text{ KV} - 0,296 \text{ KV} = 0,084 \text{ KV}.$$

Selanjutnya untuk besaran nilai drop tegangan di bus-bus lainnya, dapat menggunakan cara dan langkah yang sama. Berikut ini adalah hasil nilai nominal drop tegangan di tiap-tiap bus.

Tabel 4.8. Tegangan Nominal dan Drop Tegangan Simulasi di UPJP Kamojang

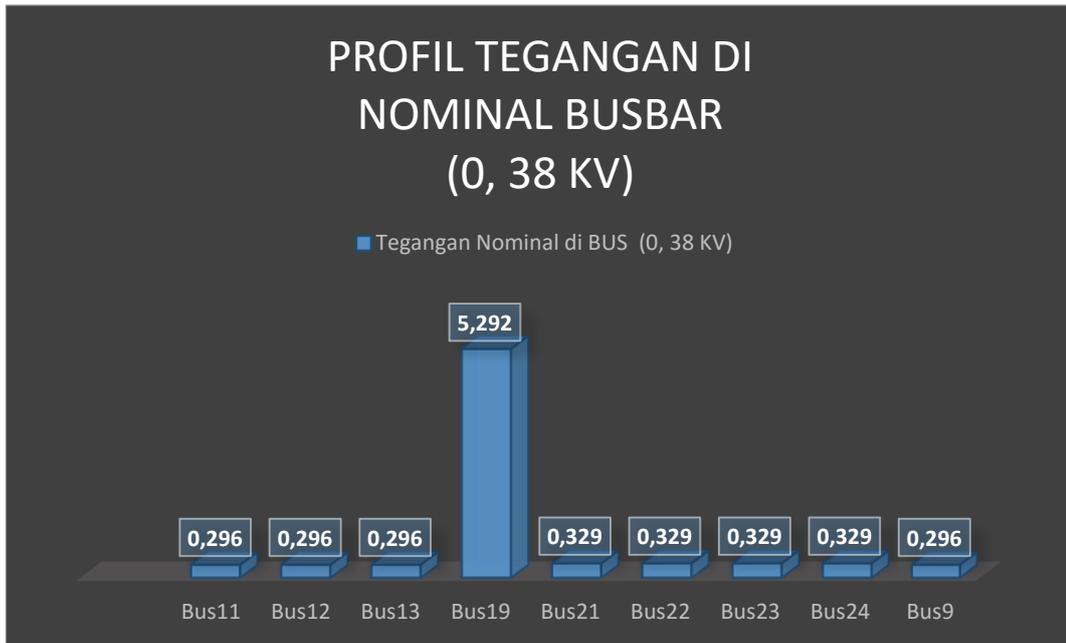
No	Kode Bus	Tegangan Nominal (KV)	Tegangan Nominal di BUS (KV)	Drop Tegangan	
				KV	%
1	Bus11	0,38	0,296	0,084	0,2211026
2	Bus12	0,38	0,296	0,084	0,2211026
3	Bus13	0,38	0,296	0,084	0,2211026
4	Bus19	0,38	5,292	-4,912	-12,92641
5	Bus21	0,38	0,329	0,051	0,1338403
6	Bus22	0,38	0,329	0,051	0,1338403
7	Bus23	0,38	0,329	0,051	0,1338403
8	Bus24	0,38	0,329	0,051	0,1338403
9	Bus26	6,3	4,834	1,466	0,2327402
10	Bus30	6,3	5,292	1,008	0,1599941
11	Bus31	6,3	5,293	1,007	0,1599024
12	Bus5	6,3	5,292	1,008	0,1599941
13	Bus9	0,38	0,296	0,084	0,2211026

Kemudian pada tabel 4.8 di atas di buatlah tabel busbar dengan nilai nominal 0.38 KV.

Tabel 4.9 Tegangan Nominal dan Drop Tegangan pada busbar dengan nilai nominal 0,38 KV

Kode Bus	Tegangan Nominal di BUS (0, 38 KV)
Bus11	0,296
Bus12	0,296
Bus13	0,296
Bus19	5,292
Bus21	0,329
Bus22	0,329
Bus23	0,329
Bus24	0,329
Bus9	0,296

Selanjutnya pada tabel 4.9 di atas dibuatlah grafik pada busbar dengan nilai nominal 0,38 KV untuk mengetahui nilai profil tegangan di tiap-tiap busbar.



Gambar 4.13. Grafik nilai profil tegangan dengan nilai nominal busbar 0.38 KV

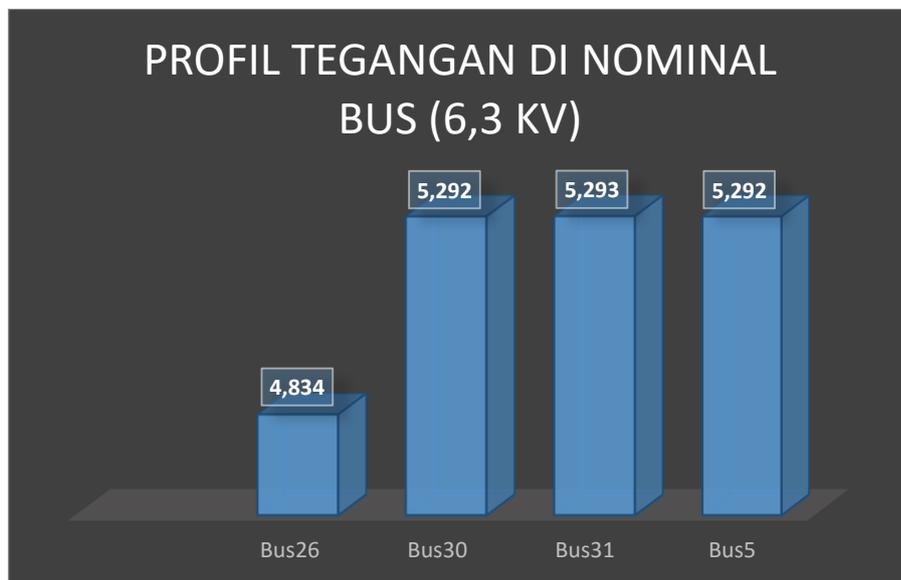
Pada gambar 4.13 di atas profil tegangan di nominal busbar tertinggi adalah pada busbar 19 yang melebihi nilai 0,38 KV yang dimana kondisi busbar lainnya adalah *under voltage*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan besar tegangan dibandingkan beban lebih besar tegangan sehingga dapat terjadi *over voltage*. Oleh karena itu dilakukan upaya oleh pihak UPJP Kamojang berupa pengontrolan berkala yang dilakukan selama seminggu sekali untuk menjaga profil tegangan agar sesuai dengan kebutuhan tegangan yang dibutuhkan pada sistem pembangkit di UPJP Kamojang.

Setelah itu seperti pada tabel 4.9 di atas di buatlah tabel busbar dengan nilai nominal 6.3 KV.

Tabel 4.10 Tegangan Nominal dan Drop Tegangan pada busbar dengan nilai nominal 6,3 KV

Kode Bus	Tegangan Nominal di BUS (6,3 KV)
Bus26	4,834
Bus30	5,292
Bus31	5,293
Bus5	5,292

Selanjutnya pada tabel 4.10 di atas dibuatlah grafik pada busbar dengan nilai nominal 6,3 KV untuk mengetahui nilai profil tegangan di tiap-tiap busbar.



Gambar 4.14. Grafik nilai profil tegangan dengan nilai nominal busbar 6.3 KV

Pada gambar 4.14 di atas profil tegangan di nominal busbar 6,3 KV semuanya mengalami kondisi *under voltage*, dan pada busbar yang mengalami kondisi terendah adalah pada busbar 26 yaitu sebesar 4,834 KV yang dimana cukup jauh dari nilai nominal busbar 6,3 KV. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan besar tegangan dibandingkan beban lebih besar beban sehingga dapat terjadi *under voltage*, dan pada busbar 26 memiliki jumlah besar beban lainnya lebih besar

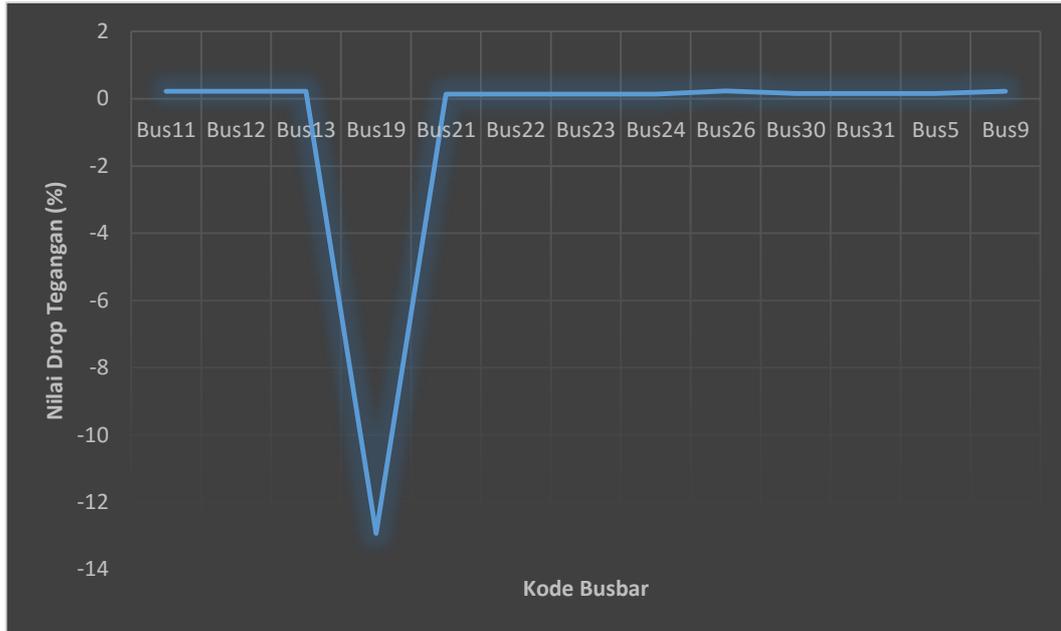
dibanding dengan beban pada busbar dengan nilai nominal 6,3 KV lainnya. Oleh karena itu dilakukan upaya oleh pihak UPJP Kamojang berupa pengontrolan berkala yang dilakukan selama seminggu sekali untuk menjaga profil tegangan agar sesuai dengan kebutuhan tegangan yang dibutuhkan pada sistem pembangkit di UPJP Kamojang.

Selanjutnya dibuat grafik drop tegangan (%) yang dihasilkan dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6. berikut ini adalah grafik drop tegangan yang dihasilkan dari oleh simulasi PLTP Kamojang unit 2.

Tabel 4.11 Tegangan Nominal dan Drop Tegangan (%)

Kode Bus	Nilai Drop Tegangan (%)
Bus11	0,221102632
Bus12	0,221102632
Bus13	0,221102632
Bus19	-12,92641316
Bus21	0,133840263
Bus22	0,133840263
Bus23	0,133840263
Bus24	0,133840263
Bus26	0,232740159
Bus30	0,159994127
Bus31	0,159902381
Bus5	0,159994127
Bus9	0,221102632

Selanjutnya menurut data tabel 4.11 di atas kemudian dibuatlah grafik untuk menggambarkan fluktuatif drop tegangan yang dihasilkan oleh simulasi PLTP Unit 2 di UPJP Kamojang.



Gambar 4.15. Grafik drop tegangan dari hasil simulasi PLTP Unit 2 UPJP Kamojang

Pada gambar 4.12 di atas menunjukkan bahwa pada busbar 19 mengakibatkan bentuk grafik curam cekung ke bawah, hal tersebut terjadi dikarenakan pada busbar 19 dengan nilai nominal bus 0,38 KV mengalami kondisi *over voltage* bukan *under voltage* sehingga bernilai minus yang kemudian menghasilkan bentuk grafik curam cekung ke bawah. Kondisi seperti itu berbahaya, karena dapat mengakibatkan ketidakstabilan sistem pada pembangkit di UPJP Kamojang sehingga dapat merusak kondisi peralatan pada pembangkit atau meledaknya pembangkit. Oleh karena itulah perlu dilakukan pengecekan secara berkala yang biasanya di UPJP Kamojang lakukan selama 1x dalam seminggu.