

**STABILITAS TRANSIEN PADA GENERATOR KAPASITAS 6,4 MW AKIBAT  
PERUBAHAN BEBAN:  
STUDI KASUS PADA PLTA JELOK**

Putra Jatmiko<sup>1</sup>, Sapto Nisworo<sup>2</sup>, Agung Trihasto<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar  
Jln. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara  
[putrajatmiko73@gmail.com](mailto:putrajatmiko73@gmail.com)<sup>1</sup>, [saptonisworo@untidar.ac.id](mailto:saptonisworo@untidar.ac.id)<sup>2</sup>, [agungtrihasto@untidar.ac.id](mailto:agungtrihasto@untidar.ac.id)<sup>3</sup>

Intiasari - Transien merupakan suatu kondisi peralihan, yakni perubahan nilai tegangan atau arus maupun keduanya yang terjadi dalam waktu singkat. Stabilitas pada sistem tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi sistem tenaga listrik. Nilai beban yang berbeda menghasilkan respon kestabilan yang berbeda juga. Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang kestabilan transien dari suatu sistem yang diakibatkan beban yang bervariasi. Penelitian ini dilakukan di PT INDONESIA POWER UP MRICA Sub Unit PLTA Jelok untuk mengetahui respon transien dari sistem pembangkitan dengan unit generator 4 x 6,4 MW dengan memvariasikan beban yang berbeda-beda. Software yang digunakan untuk simulasi respon transien yaitu ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua perubahan beban baik penambahan maupun pengurangan beban dapat menyebabkan osilasi yang bisa saja membahayakan sistem. Namun pada simulasi, sistem mampu melakukan recovery pada detik ke 80 untuk respon frekuensi dan pada detik 50 untuk respon tegangan sehingga tidak membahayakan kestabilan sistem.

Kata kunci: *Pembangkit, Kestabilan Transien, Frekuensi, Tegangan, ETAP*

*Transient is a transitional condition, namely changes in voltage or current values or both that occur in a short time. Stability in electric power system is the main thing to ensure the continuity and reliability of the operation of the electric power system. Different load values produce different stability responses as well. This research was conducted at PT INDONESIA POWER UP MRICA Sub Unit PLTA Jelok to determine the transient response of the generation system with 4 x 6,4 MW generator units by varying different load. The software used to obtain transient response simulation is ETAP. The simulation showed that all load changes, both increase and decrease in load, can cause oscillations that can endanger the system. However, in the simulation, the system is able to recover at 80 seconds for frequency response and at 50 seconds for voltage response so that is not endanger the stability of the system.*

*Keywords: Generator, Transient Stability, Frequency, Voltage, ETAP*

## I. PENDAHULUAN

Generator PLTA Jelok berkapasitas 6,4 MW merupakan salah satu komponen penting dalam pembangkit tenaga listrik.

Dalam pembangkitan tenaga listrik, kestabilan tegangan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi sistem tegangan. Perubahan kondisi sistem yang tiba-tiba

biasanya terjadi karena adanya gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik dan pelepasan atau penambahan beban yang benar secara seketika. Akibat adanya perubahan kondisi kerja dari sistem tenaga ini, maka keadaan sistem akan berubah dari keadaan lama menuju keadaan baru. Periode singkat di antara kedua keadaan tersebut dinamakan periode peralihan atau *transient*. Maka dari itu diperlukan suatu analisis sistem tenaga listrik bertujuan menentukan apakah sistem tersebut stabil atau tidak saat terjadi gangguan. Stabilitas *transient* didasarkan pada kondisi kestabilan ayunan pertama (*first swing*) dengan periode waktu penyelidikan pada detik pertama terjadi gangguan [1].

Dampak generator sinkron yang didorong konverter pada stabilitas transien sistem daya dieksplorasi dengan pengontrol arus aktif disaat masing-masing pengontrol sistem diatur agar berfungsi dan tidak aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika pengontrol saat ini tidak aktif, respon jaringan listrik tidak stabil atau berosilasi. Mengaktifkan pengontrol saat ini menghasilkan jaringan daya yang stabil untuk semua skenario kontrol yang dieksplorasi terkait dengan pengontrol sistem[2].

Suatu sistem dapat dikatakan stabil jika daya yang dihasilkan untuk mempertahankan mesin dalam keadaan sinkron cukup untuk mengatasi adanya gangguan[5]. Distribusi beban dan pembangkitan yang tidak merata menimbulkan potensi masalah stabilitas tegangan transien yang serius karena kurangnya dukungan daya reaktif dinamis di pusat-pusat beban [3].

Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem tenaga listrik yang mampu melayani beban secara terus menerus, tegangan dan frekuensi yang stabil, fluktuasi tegangan dan frekuensi yang terjadi harus berada pada batas toleransi yang diizinkan [4].

Pada sebagian besar kasus memasukkan kontrol eksitasi generator

berarti peningkatan waktu pembersihan kritis. Namun, ada beberapa kasus di mana dimasukkannya beberapa kontrol eksitasi mengingat model transien untuk generator menyebabkan ketidakstabilan sistem untuk setiap waktu pembersihan. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak jelas bahwa dimasukkannya kontrol eksitasi dalam simulasi menyiratkan peningkatan stabilitas sistem tenaga [5].

Pada kali ini penulis menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk mensimulasikan stabilitas transien khususnya pada kasus kenaikan beban generator kapasitas 6,4 MW PLTA Jelok

## II. LANDASAN TEORI

Stabilitas sistem daya didefinisikan sebagai suatu sistem yang memungkinkan generator bergerak sinkron bereaksi terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta kembali ke kondisi kerja semula atau kondisi seimbang bila keadaan menjadi normal kembali.

Masalah kestabilan biasanya dibagi menjadi 3 tipe, yaitu:

1. Stabilitas *steady state* sistem tenaga listrik.

Kestabilan *steady state* merupakan keadaan dimana sistem tenaga mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan setelah sistem mengalami gangguan kecil;

2. Stabilitas transien sistem tenaga listrik.

Stabilitas transien adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron (sebelum terjadi aksi dari kontrol governor) yang mengikuti gangguan pada sistem;

3. Stabilitas dinamis sistem tenaga listrik.

Stabilitas dinamis adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) hingga sistem mencapai kondisi *equilibrium steady-state* yang baru [6].

Berdasarkan Paper IEEE *definition and classification of power system stability*,

kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori yaitu:

### 1. Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor mengacu pada kemampuan mesin sinkron dari sistem tenaga yang saling berhubungan untuk tetap sinkron setelah mengalami adanya gangguan. Jika keseimbangan suatu sistem mengalami gangguan dan menyebabkan percepatan atau perlambatan rotor mesin sesuai dengan hukum gerak yang berputar.

### 2. Stabilitas Tegangan

Kestabilan tegangan mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan yang stabil di semua bus dalam sistem tenaga setelah mengalami gangguan dari kondisi awal tertentu. Hasil yang memungkinkan dari ketidakstabilan tegangan adalah hilangnya beban di suatu area, atau *trip*-nya saluran transmisi dan elemen lainnya oleh sistem pelindungnya yang menyebabkan pemadaman berskala.

### 3. Stabilitas Frekuensi

Kestabilan frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi untuk tetap stabil setelah adanya gangguan sistem parah yang menyebabkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban[7].

#### A. Kestabilan Transien

Stabilitas transien adalah kemampuan suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi ketika mengalami gangguan transien yang parah seperti gangguan pada transmisi, hilangnya pembangkitan, atau hilangnya beban yang besar. Respon sistem terhadap gangguan tersebut melibatkan besar sudut rotor generator, aliran daya, tegangan bus, dan variabel sistem lainnya. [8].

#### B. Load Shedding

*Load shedding* atau pelepasan beban merupakan metode yang dilakukan pada sisi suplai energi listrik untuk mengurangi permintaan beban pada sistem pembangkit listrik untuk waktu sementara dengan

memutus distribusi energi listrik atau melakukan pemadaman sementara pada wilayah tertentu. *Shutdown* atau pemadaman yang sengaja dilakukan pada suatu wilayah tertentu dengan tujuan untuk mencegah kegagalan jaringan sistem pembangkit dan distribusi energi listrik secara keseluruhan.

#### C. Load Sharing

*Load sharing* merupakan istilah ketika beberapa generator yang beroperasi paralel menyuplai suatu beban dengan pembagian daya yang disuplai oleh beberapa generator yang beroperasi paralel tersebut dibagi secara proporsional baik daya reaktif (kVAR) maupun daya aktif (kW). *Load sharing* sangat penting untuk mencegah terjadinya *overload* pada sebuah generator, menjaga kestabilan jaringan dan kontinuitas suplai daya listrik ke beban.

#### D. Dinamika Rotor Dan Persamaan Ayunan

Pada dasarnya persamaan dari pengaturan gerakan satu mesin rotor merupakan prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa torsi percepatan (*accelerating torque*) merupakan hasil perkalian dari percepatan sudut dan momen kelembaman (*inertia*) rotor. Pada sistem meter-kilogram-second (MKS) persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$J = \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \dots (2.1)$$

Keterangan:

$J$  : Momen inersia total dari masa rotor dalam  $kg \cdot m^2$

$\theta_m$ : Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam dalam radian mekanis (rad)

$T_e$  : Momen putar listrik (N-m)

$T_a$  : Momen putar kecepatan percepatan bersih (*net*), (N-m)

$t$  : Waktu (s)

$T_m$ : Momen putar mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh *prime mover* dikurangi dengan momen putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m) [9].

## E. Standar yang Digunakan untuk Analisis Kestabilan Transien

### 1. Standar frekuensi

Berdasarkan IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106- 1987) batas operasional turbin up untuk frekuensi 60Hz yaitu antara 59,5 dan 60,5 Hz adalah batas daerah operasi yang diperbolehkan. Sedangkan diatas 60,5 Hz dan di bawah 59,5 Hz adalah batas daerah yang dilarang. Jika dikonversikan dalam standar frekuensi 50 Hz maka 59,5 Hz sama dengan 49,58 Hz (99,17%) dan 60,5 Hz sama dengan 50,42 Hz (100,83%).

### 2. Standar Tegangan

Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar PLN, yaitu:

- 500 kV +5%,-5%
- 150 kV +5%,-10%
- 70 kV +5%,-10%
- kV +5%,-10%

### 3. Standar pelepasan beban

Terdapat dua skema pelepasan beban yang mengacu pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987, yaitu pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah. Tabel di bawah ini merupakan skema pelepasan beban tiga langkah dan enam langkah berdasarkan standar ANSI/IEEE c37.106-1987 untuk frekuensi 60 Hz.[9]

## F. ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*)

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan salah satu software aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik. ETAP mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara realtime.

## III. METODE PENELITIAN

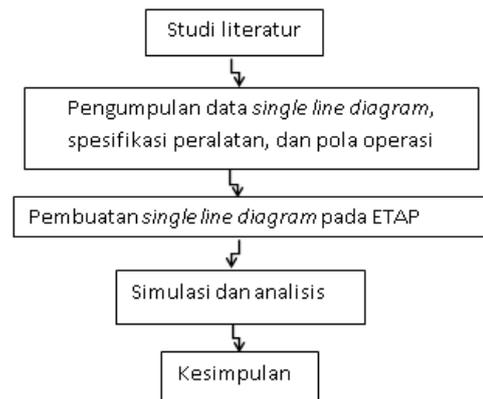
### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Universitas Tidar (simulasi dan analisis). Waktu yang diperlukan untuk penyelesaian penelitian ini

adalah selama 6 bulan dimulai dari tanggal 12 Juli 2021 sampai dengan tanggal 23 Desember 2021.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dikerjakan melalui beberapa tahap. Tahapan penelitian ini dibuat agar menjelaskan bagaimana proses penelitian ini dikerjakan dari awal hingga akhir.



Gambar 3.1. Diagram blok alur penelitian.

## IV SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1. Data Kelistrikan di PT INDONESIA POWER UP MRICA Sub Unit PLTA Jelok

#### 1. Data Generator

Data generator yang diambil dari *name plate* generator pada PLTA Jelok dapat dilihat pada Table 4.1 :

Tabel 1.1. Spesifikasi Generator

Unit	Tegangan (kV)	PF	Frekuensi (Hz)	Kapasitas (MW)
1	6,6	0,8	50	6,4
2	6,6	0,8	50	6,4
3	6,6	0,8	50	6,4
4	6,6	0,8	50	6,4
Jumlah				25,6

#### 2. Data Transformator

Data transformator yang diambil dari *name plate* transformator pada PLTA Jelok dapat dilihat pada Tabel 4.2 :

Tabel 4.2. Spesifikasi Transformator

Unit	MVA	kV	%Z	Hubungan
1	6,4	33/112	8,35%	Ynd1
2	6,4	33/112	8,35%	Ynd1
3	6,4	33/112	8,35%	Ynd1
4	6,4	33/112	8,35%	Ynd1

#### 4.2. Pemodelan Sistem Kelistrikan

Berdasarkan data-data yang ada dilakukan pemodelan dalam bentuk *single line diagram* dari sistem pembangkitan di PT INDONESIA POWER UP MRICA Sub Unit PLTA Jelok dalam software ETAP. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dan analisis kestabilan transien dengan beberapa variasi beban. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam skripsi ini adalah respon dari frekuensi dan tegangan pada sistem.

Berikut adalah tabel variasi beban yang akan disimulasikan :

Tabel 4.3. Sampel Beban Saat Simulasi

Beban (MW)	Keterangan
20,16	Normal
19,24	Normal
18,32	Normal
17,4	Normal
16,48	Normal
15,56	Normal
14,64	Normal
13,72	Normal
12,8	Normal
11,88	Normal

#### 4.3. Respon Frekuensi dan Tegangan

Hasil yang akan dianalisis meliputi respon frekuensi dan tegangan dari bus utama. Aryawa Prasada dkk (2015) menyatakan bahwa kestabilan sistem dapat dilihat dari respon frekuensi dan respon tegangan yang disimulasikan dengan mengacu pada standar IEEE C37.106-2003.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan beban yang berbeda-beda maka hasil menunjukkan penurunan frekuensi terendah dari masing-masing

beban. Kenaikan tegangan tertinggi dan penurunan tegangan terendah dari masing-masing beban juga diperoleh dari simulasi yang telah dilakukan.

Tabel 4.4. Respon frekuensi dan respon tegangan sebelum adanya perubahan beban

Beban (MW)	Respon		Respon Tegangan			
	Penurunan (%)	t (s)	Kenaikan (%)	t (s)	Penurunan (%)	t (s)
5,04	98,86	2,2	100,1	1	99,76	3,2
4,81	98,91	2,2	100,1	1	99,78	3,2
4,58	98,96	2,4	100,09	1,2	99,79	3,4
4,35	99,01	2,4	100,09	1,2	99,8	3,8
4,12	99,07	2,6	100,08	1,2	99,81	3,8
3,89	99,29	2	100,04	2	99,84	4
3,66	99,19	2,8	100,07	1,2	99,84	4,4
3,43	99,25	4	100,07	1,4	99,85	4,6
3,2	99,3	3,2	100,06	1,8	99,86	4,8
2,97	99,36	3,4	100,06	1,6	99,87	5

Berdasarkan data yang diperoleh dari simulasi yang disajikan pada tabel 4.4 dengan mengacu pada standar IEEE C37.106-2003 sistem masih dapat mempertahankan kestabilan.

Penambahan beban sebesar 0,5% pada masing-masing beban memberikan pengaruh pada kestabilan sistem. Namun pengaruh penambahan beban pada respon frekuensi dan respon tegangan tidak dapat dibuat pola, karena masing-masing beban mempunyai presentase penambahan beban yang sama, sehingga beban yang ditambahkan akan menjadi berbeda sesuai dengan besar beban awal. Tabel 4.5 menyajikan respon sistem terhadap penambahan beban sebesar 0,5% pada masing-masing beban yang dimulai dari detik ke 3.

Tabel 4.5. Respon frekuensi dan respon

tegangan setelah adanya penambahan beban 0,5%

Beban (MW)	Respon Frekuensi		Respon Tegangan			
	Penurunan (%)	t (s)	Kenaikan (%)	t (s)	Penurunan (%)	t (s)
5,04	100,05	6	98,86	2,2	99,04	4,38
4,81	100,1	6	98,7	3,8	99,3	5
4,58	100,2	6,2	98,7	3,8	99,3	5
4,35	100,3	6,4	98,6	3,8	99,3	5
4,12	100,3	6,6	98,6	4	99,3	5,2
3,89	100,4	6,6	98,5	4	99,3	5,4
3,66	100,4	7	98,5	4	99,3	5,6
3,43	100,4	7,2	98,5	4,2	99,3	5,6
3,2	100,4	7,4	98,5	4,4	99,3	5,8
2,97	100,4	7,4	98,5	4,4	99,3	6

Pada kasus pengurangan beban, sama halnya dengan penambahan beban, respon frekuensi dan respon tegangan terhadap pengurangan beban tidak dapat dibuat pola. Hal ini dikarenakan besar pengurangan beban tergantung dari besar beban awal. Semakin besar beban awal, maka besar pengurangan beban, begitu juga sebaliknya. Tabel 4.6 menyajikan respon frekuensi dan respon tegangan terhadap pengurangan beban pada masing-masing sampel beban

Tabel 4.6. Respon frekuensi dan respon tegangan setelah adanya pengurangan beban 0,5%

Beban (MW)	Respon Frekuensi		Respon Tegangan			
	Penurunan (%)	t (s)	Kenaikan (%)	t (s)	Penurunan (%)	t (s)
5,04	100,85	4	97,98	6,4	100,71	5,4
4,81	100,84	4,2	98,09	6,4	100,7	5,4
4,58	100,8	4,4	98,2	6,6	100,68	5,4
4,35	100,76	4,4	98,32	6,8	100,65	5,6
4,12	100,71	4,6	98,44	7,2	100,63	5,8
3,89	100,67	4,6	98,56	7,4	100,6	6

3,66	100,63	4,8	98,7	7,4	100,58	6,2
3,43	100,59	4,8	98,9	7,4	100,55	6,2
3,2	100,56	5	99,11	7,4	100,53	6,4
2,97	100,54	5	99,33	7,4	100,51	6,6

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan setelah mengetahui respon frekuensi dan respon tegangan dengan total waktu simulasi 140 detik, dapat disimpulkan bahwa semua perubahan beban baik penambahan maupun pengurangan beban dapat menyebabkan osilasi. Namun pada simulasi, sistem mampu melakukan *recovery* dalam rata-rata waktu 80 detik pada kenaikan dan penurunan frekuensi dan rata-rata waktu 50 detik pada kenaikan dan penurunan tegangan sehingga tidak membahayakan kestabilan sistem. Besar perubahan beban sangat mempengaruhi kemampuan sistem untuk melakukan *recovery*. Semakin besar perubahan beban maka akan semakin sulit juga bagi sistem untuk melakukan *recovery*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Sorrentino, P. Villafuerte. "Effect of the Control of Generators and Turbines." *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS* 14, no. 3 (2016): 1227-1234.
- [2] Firdaus, David. Ontoseno P., dan Ni Ketut A. "Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban pada Sistem Kelistrikan PT Semen Indonesia Pabrik Aceh." *JURNAL TEKNIK ITS* 5, no. 2 (2016): B-468.
- [3] Khomari, Moloantoa, dan Komla Folly. "Effect of the Current Controller of a Converter Driven." *IEEE*, 2009: 1.
- [4] Kumara, Danar T., Ontoseno P., dan Ni

Ketut A. "Analisa Stabilitas Transien Pada Sistem Transmisi Sumatera Utara 150 kV – 275 kV Dengan Penambahan PLTA Batang Toru 4 X 125 MW." *JURNAL TEKNIK ITS* 5, no. 2 (2016): B202.

- [5] Permana, Indra A., I Nengah S., dan Wayan A.W. "ANALISIS PENGGUNAAN POWER SYSTEM STABILIZER (PSS) DALAM PERBAIKAN STABILITAS TRANSIEN GENERATOR SINKRON." *E-Journal SPEKTRUM* 2 (2015): 1.
- [6] R, Friez A. "Analisa Stabilitas Transient STL Minahasa." *E-journal Teknik Elektro dan Komputer*, 2015: 40.
- [7] Son, Gum T., Hee-Jin L., Soo Young L. "A Study on the Direct Stability Analysis of." *IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY* 22, no. 3 (2012): 5602304.
- [8] Wenchao, Zhang, Li Y., Gu X. "A New Fast Method of Assessing Transient Stability." *IEEE*, 2010: 827.
- [9] Zuo, Jian dkk. "Study of transient voltage stability with transient stability probing method in hunan power grid." *IEEE*, 2017: 1.