



**Institut Teknologi Nasional Malang**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**ANALISA KESTABILAN TRANSIEN PADA OPERASI BLACK  
START GENERATOR 2.1 PT. INDONESIA POWER GRATI POMU**

**Putri Rahayu  
NIM 1812072**

**Dosen pembimbing  
Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT  
Ir. Ni Putu Agustini, MT**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Juli 2022**



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**ANALISA KESTABILAN TRANSIEN PADA  
OPERASI BLACK START GAS TURBINE  
GENERATOR 2.1 PT. INDONESIA POWER GRATI  
POMU**

**Putri Rahayu  
NIM 1812072**

**Dosen pembimbing  
Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT  
Ir. Ni Putu Agustini, MT**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Juli 2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA KESTABILAN TRANSIEN PADA OPERASI *BLACK START* GAS TURBINE GENERATOR 2.1 PT. INDONESIA POWER GRATI POMU

## SKRIPSI

**PUTRI RAHAYU**  
**1812072**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Program Studi Teknik Elektro S-1  
Peminatan Teknik Energi Listrik  
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Widodo Pudji Mulianto, MT.  
NIP. Y. 1028700171

Dosen Pembimbing II



Ir. Ni Patu Agustini, MT.  
NIP. Y. 1030100371

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.  
NIP. P. 1030100361

Malang, September 2022

# **ANALISA KESTABILAN TRANSIEN PADA OPERASI BLACK START GAS TURBINE GENERATOR 2.1 PT. INDONESIA POWER GRATI POMU**

**Putri Rahayu, NIM : 1812072**

**Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT**

**Dosen Pembimbing II : Ir. Ni Putu Agustini, MT**

Kestabilan transient mengartikan kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak selama sekitar “first swing” (ayunan pertama) dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) dan governor belum bekerja. Analisis kestabilan transient digunakan untuk mengetahui kapabilitas sistem ketika mempertahankan keadaan transient akibat adanya gangguan besar. Gas Turbine Generator merupakan mesin konversi energi listrik yang memanfaatkan udara sebagai fluida kerjanya. Kelebihan yang dimiliki oleh Gas Turbine Generator salah satunya yaitu dapat dimanfaatkan sebagai unit blackstart manakala terjadi pemadaman total. PLTGU Grati GTG 2.1 PT Indonesia Power Grati POMU direncanakan untuk dapat melakukan black start. Perencanaan yang akan dilakukan di antaranya melaksanakan line charging pada GITET Grati sampai ke Station Service Transformer (SST) PLTU Paiton 9 melalui saluran transmisi 150 kV sepanjang 104,91 kms.

**Kata kunci** : Komponen, Kestabilan transient, *Line charging*, *Black start*

## **ABSTRACT**

# **TRANSIENT STABILITY ANALYSIS OF BLACK START GAS TURBINE GENERATOR 2.1 OPERATION PT. INDONESIA POWER GRATI POMU**

**Putri Rahayu, NIM : 1812072**

**Supervisor I : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT**

**Supervisor II : Ir. Ni Putu Agustini, MT**

Transient stability means the ability of an electric power system to maintain synchronization after experiencing a sudden large disturbance during the first swing, assuming that the automatic voltage regulator (AVR) and governor have not worked. Transient stability analysis is used to determine the capability of the system when maintaining a transient state due to a large disturbance. Gas Turbine Generator is an electrical energy conversion machine that utilizes air as its working fluid. One of the advantages of the Gas Turbine Generator is that it can be used as a blackstart unit when a total blackout occurs. PLTGU Grati GTG 2.1 PT Indonesia Power Grati POMU is planned to be able to do a black start. The plans that will be carried out include carrying out line charging at GITET Grati to the Station Service Transformer (SST) PLTU Paiton 9 via a 150 kV transmission line along 104.91 kms.

**Keywords** : Components, Transient Stability, Line charging, Black start.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia kuasaNya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang . Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam rangka pembelajaran terus-menerus. Banyak pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto dan Ibu Ir. Ni Putu Agustini, MT selaku Dosen Pembimbing yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 ITN Malang
3. Bapak dan Ibu Dosen Elektro S-1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
4. PT. Indonesia Power Grati POMU dan PT. PLN UIT JBTB Probolinggo atas kesempatan kepada penulis untuk melakukan riset, pengambilan data dan diskusi dengan staf-staf terkait.
5. Kedua orang tua dan keluarga penulis atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
6. Teman-teman Elektro ITN Malang angkatan 2018 yang selalu mendukung satu sama lain.
7. Seluruh asisten laboratorium SSTE dan TDDE atas penyediaan tempat untuk mengerjakan skripsi.

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang,

2022

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR GAMBAR .....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 <i>Black Start</i> .....	5
2.2 Pengertian Kestabilan .....	8
2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.4 Kestabilan Transien .....	10
2.5 Gangguan Yang Mempengaruhi Kestabilan.....	13
2.5.1 Perubahan Beban Dalam Waktu Yang Singkat.....	13
2.5.2 Hubung Singkat.....	13
2.5.3 Starting Motor .....	13
2.6 <i>Critical Clearing Time</i> .....	14
2.7 Standar Yang Berhubungan Dengan Kestabilan Transien ...	15
2.7.1 Standar <i>Voltage Sag</i> .....	15
2.7.2 Standar Frekuensi .....	16
2.7.3 Standar <i>Critical Clearing Time</i> .....	18

2.7.4	Standar Tegangan .....	18
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	20
3.2	Metode Pengumpulan Data.....	20
3.3	Desain Penelitian Studi.....	20
3.4	Metode Analisis Data .....	23
3.4.1	ETAP Power Station.....	23
3.4.2	Persamaan Ayunan dan Dinamika Rotor .....	25
3.4.3	Perhitungan <i>Critical Clearing Time</i> .....	29
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	34
4.1	Mekanisme Operasi <i>Black Start</i> Untuk <i>Case</i> Gas Turbine Generator di Grati Pada Jaringan 150 kV Grati - Paiton .....	34
4.2	Perencanaan Model Sistem .....	34
4.3	Data Sistem PLTS ITN Malang .....	36
4.4	Hasil Perhitungan <i>Critical Clearing Time (CCT)</i> .....	41
4.5	Studi Kasus Stabilitas Transien Gas Turbine Generator 2.1 PLTGU Grati.....	43
4.6	Studi Kasus Stabilitas Transien Gas Turbine Generator 2.1 PLTGU Grati.....	43
BAB V	PENUTUP .....	52
5.1	Kesimpulan .....	52
5.2	Saran .....	52

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Model sederhana dari Black Start .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Klasifikasi ketsabilan sistem tenaga.....	10
<b>Gambar 2.3</b> Kurva hubung P dan $\delta$ .....	12
<b>Gambar 2.4</b> Kurva kondisi sistem stabil dengan luas $A1 = A2$ .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Standar voltage sag berdasarkan SEMI F47 .....	15
<b>Gambar 2.6</b> Standar penyimpangan frekuensi untuk pembangkit termal .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir simulasi kestabilan.....	21
<b>Gambar 3.2</b> Tampilan Aplikasi ETAP Power Station.....	24
<b>Gambar 3.3</b> Rotor Mesin .....	25
<b>Gambar 3.4</b> Arah putaran torsi listrik dan mekanik dari rotor di generator.....	25
<b>Gambar 3.5</b> Definisi sudut rotor.....	26
<b>Gambar 3.6</b> Gambar mesin sinkron yang terhubung dengan infinite bus .....	29
<b>Gambar 3.7</b> Kurva karakteristik daya aktif terhadap sudut .....	30
<b>Gambar 3.8</b> Kurva sudut rotor dalam kondisi seimbang .....	32
<b>Gambar 4.1</b> Jalur Line Charging GTG 2.1 PLTGU Grati .....	35
<b>Gambar 4.2</b> Kurva kapabilitas GTG 2.1 PLTGU Grati.....	37
<b>Gambar 4.3</b> Spesifikasi GTG 2.1 PLTGU Grati.....	38
<b>Gambar 4.4</b> Kapabilitas GTG 2.1 PLTGU Grati Pada Tiap Faktor Daya .....	38
<b>Gambar 4.5</b> Spesifikasi Generator Step-Up Transformer 2.1 PLTGU Grati .....	39
<b>Gambar 4.6</b> Spesifikasi Konduktor Saluran Transmisi 150 kV Grati-Paiton .....	39
<b>Gambar 4.7</b> Simulasi aliran daya .....	40
<b>Gambar 4.8</b> Respon stabilitas tegangan pada kondisi normal .....	44
<b>Gambar 4.9</b> Respon stabilitas frekuensi pada kondisi normal .....	45
<b>Gambar 4.10</b> Respon stabilitas sudut rotor pada GTG 2.1 .....	46
<b>Gambar 4.11</b> Respon stabilitas tegangan untuk gangguan 3 fasa .....	48
<b>Gambar 4.12</b> Respon Kestabilan frekuensi untuk gangguan 3 fasa .....	49
<b>Gambar 4.13</b> Respon kondisi stabilitas sudut rotor untuk gangguan 3 fasa .....	50

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2.1</b> Standar Voltage Sag SEMI F47 .....	16
<b>Tabel 2.2</b> Konversi standar frekuensi dari 60 Hz ke 50 Hz.....	17
<b>Tabel 2.3</b> Standar tegangan menurut SPLN .....	19
<b>Tabel 4.1</b> Nilai respon stabilitas sudut rotor pada generator .....	47
<b>Tabel 4.2</b> Nilai respon stabilitas sudut rotor saat kondisi normal .....	47
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Respon Stabilitas Sudut Rotor pada Generator.....	51
<b>Tabel 4. 4</b> Respon Stabilitas Sudut Rotor Saat Gangguan 3 Fasa.. .....	51

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Putri Rahayu  
NIM : 1812072  
Jurusan/Peminatan : Teknik Elektro S-1/Teknik Energi Listrik  
ID KTP/Paspor : 3505124601990001  
Alamat : Jl. Kelud No. 33 RT 05 RW 02, Lingk. Brubuh,  
Kelurahan Kalipan, Kecamatan Sutojayan,  
Kabupaten Blitar  
Judul Skripsi : Analisa Kestabilan Transien Pada Operasi Black  
Start Gas Turbine Generator 2.1 PT. Indonesia  
Power Grati POMU

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan Undang-Undang yang berlaku.

Malang, September 2022  
Yang membuat pernyataan





**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : Putri Rahayu  
NIM : 1812072  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Peminatan : Teknik Energi Listrik  
Masa Bimbingan : Semester Genap 2021/2022  
Judul Skripsi : Analisa Kestabilan Transien Pada Operasi Black Start Gas Turbine Generator 2.1 PT. Indonesia Power Grati POMU

Di perlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 11 Agustus 2022  
Nilai : 75,5  
Panitia Ujian Skripsi

**Majelis Ketua Penguji**

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT  
NIP. P. 1030100361

**Sekretaris Majelis Penguji**

Sotyo Hadi, ST., MT  
NIP. Y. 1039700309

Anggota Penguji

**Dosen Penguji I**

Awan Uji Krisnanto, ST., MT., Ph.D  
NIP. 19800301 200501 1 002

**Dosen Penguji II**

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE  
NIP. Y. 1018500108