

**TUGAS AKHIR - EE184801**

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN  
PERENCANAAN MEKANISME *LOAD SHEDDING* AKIBAT  
PENAMBAHAN PABRIK PUSRI III-B DI PT. PUPUK  
SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG**

**ALIA RATASYA**

**NRP 07111840000118**

Dosen Pembimbing

**Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.**

**NIP 196603181990101001**

**Vita Lystianingrum, B.P ST., M.Sc., Ph.D**

**NIP 198208292006042001**

**Program Studi Sarjana Teknik Elektro**

**Departemen Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2022**



**TUGAS AKHIR - EE184801**

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN PERENCANAAN MEKANISME *LOAD SHEDDING* AKIBAT PENAMBAHAN PABRIK PUSRI III-B DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG**

**ALIA RATASYA**

**NRP 07111840000118**

Dosen Pembimbing

**Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.**

**NIP 196603181990101001**

**Vita Lystianingrum, B.P ST., M.Sc., Ph.D.**

**NIP 198208292006042001**

**Program Studi Sarjana Teknik Elektro**

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - EE184801**

**TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND LOAD  
SHEDDING MECHANISM SCHEME AT PT. PUPUK  
SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG DUE TO THE  
ADDITION OF PUSRI III-B PLANT**

**ALIA RATASYA**

**NRP 07111840000118**

Advisors

**Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.**

**NIP 196603181990101001**

**Vita Lystianingrum, B.P ST., M.Sc., Ph.D.**

**NIP 198208292006042001**

**Electrical Engineering Undergraduate Program**

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN PERENCANAAN MEKANISME LOAD SHEDDING AKIBAT PENAMBAHAN PABRIK PUSRI III-B DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG

### TUGAS AKHIR


Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi Sarjana Teknik Elektro  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **ALIA RATASYA**

NRP. 07111840000118

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

  
Pembimbing


2. Vita Lystianingrum, B. P S.T., M.Sc., Ph.D.

Ko-pembimbing

3. Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

  
Penguji

4. Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

  
Penguji

5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.

  
Penguji

**SURABAYA**

**Juni, 2022**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# APPROVAL SHEET

## TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND LOAD SHEDDING MECHANISM SCHEME AT PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG DUE TO THE ADDITION OF PUSRI III-B PLANT

### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Electrical Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **ALIA RATASYA**

NRP. 07111840000118

Approved by Final Project Examiner Team:


1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

  
Advisor

2. Vita Lystianingrum, B. P S.T., M.Sc., Ph.D.

Co-Advisor

3. Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

  
Examiner

4. Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Examiner

5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.

  
Examiner

**SURABAYA**

**June, 2022**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN DEPARTEMEN

## ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN PERENCANAAN MEKANISME LOAD SHEDDING AKIBAT PENAMBAHAN PABRIK PUSRI III-B DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.,  
Ph.D.  
NIP. 198208292006042001

**SURABAYA**

**JULI, 2022**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Alia Ratasya / 07111840000118  
Program studi : S-1 Teknik Elektro  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. / 196603181990101001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kestabilan Transien dan Perencanaan Mekanisme *Load Shedding* akibat Penambahan Pabrik Pusri III-B di PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 10 Juni 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
NIP. 1966 0318 1990 10 1001

Mahasiswa



Alia Ratasya  
NRP. 07111840000118

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Nama of student / NRP : Alia Ratasya / 07111840000118  
Department : S-1 Teknik Elektro  
Advisors / NIP : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. / 196603181990101001

hereby declare that the Final Project with the title of “Transient Stability Analysis and Load Shedding Mechanism Scheme at PT. Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang due to the addition of PUSRI III-B Plant” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, June 10<sup>th</sup> 2022

Acknowledged  
Advisor



Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
NIP. 1966 0318 1990 10 1001

Student



Alia Ratasya  
NRP. 07111840000118

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

### ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN PERENCANAAN MEKANISME LOAD SHEDDING AKIBAT PENAMBAHAN PABRIK PUSRI III-B DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG

**Nama Mahasiswa / NRP** : Alia Ratasya/ 07111840000118  
**Departemen** : Teknik Elektro FTEIC - ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
2. Vita Lystianingrum, B. P S.T., M.Sc., Ph.D.

Di sektor industri, kestabilan dan keamanan pada sistem tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi dari suatu sistem tenaga. PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang merupakan BUMN yang didirikan sebagai pelopor industri pupuk urea bersubsidi dalam mendukung program pemerintah menjaga ketahanan pangan nasional. Untuk selalu memastikan tercukupinya kebutuhan daya serta upaya pengembangan, PT. Pusri Palembang melaksanakan pembangunan Pabrik Pusri III-B sebagai proyek revitalisasi menggantikan dua pabrik lamanya yakni Pusri III dan Pusri IV yang dinilai telah berteknologi lama dan boros penggunaan energi.

Pembangkitan tenaga listrik pada suatu sistem tenaga seringkali mendapat gangguan yang tidak terhindarkan seperti terjadinya pembebanan secara tiba-tiba dan trip generator. Ketidakmampuan suatu pembangkit dalam menyuplai energi listrik umumnya ditandai dengan penurunan frekuensi dengan kemungkinan terburuk sistem akan mengalami pemadaman total (black out). Demi menjaga keamanan serta kestabilan sistem kelistrikan agar nilai frekuensi berada pada batas yang diizinkan akibat adanya penambahan pabrik baru Pusri III-B, melalui tugas akhir ini akan dilakukan analisis kestabilan transien dengan studi kasus generator lepas serta skema pengembalian frekuensi apabila terjadi gangguan yang tidak diinginkan di Pabrik Pusri III-B yakni dengan mempersiapkan mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) sistem kelistrikan.

Perencanaan sistem load shedding dilakukan menggunakan mekanisme status *indicated* dan standar frekuensi dengan mempertimbangkan aliran daya dan studi kasus kestabilan transien dari sistem kelistrikan Pabrik Pusri III-B yang diharapkan mampu memberi rekomendasi pola mekanisme pelepasan beban secara tepat dengan jumlah pelepasan beban seminimal mungkin sesuai standar sehingga mampu memulihkan serta mengamankan sistem secara cepat dan kestabilan sistem kelistrikan di Pabrik Pusri III-B dapat dipertahankan.

Dari 23 skema yang dijalankan, skenario pelepasan beban rekomendasi menggunakan metode status pola operasi normal masih dapat meminimalisir besar kuantum *load shedding* eksisting yang telah dimiliki oleh PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang namun dapat tetap menjaga kestabilan sistem kelistrikan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Pelepasan beban menggunakan metode status lebih unggul jika dibandingkan dengan metode frekuensi tiga



langkah karena memungkinkan terjadinya *over* dan *under load shedding* karena sistem hanya memantau respon dari frekuensi.

**Kata kunci:** Gangguan Transien, Kestabilan Transien, Pelepasan Beban

## **ABSTRACT**

### **TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND LOAD SHEDDING MECHANISM SCHEME AT PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG DUE TO THE ADDITION OF PUSRI III-B PLANT**

**Student Name / NRP** : Alia Ratasya/ 07111840000118  
**Department** : Electrical Engineering FTEIC - ITS  
**Advisor** : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
2. Vita Lystianingrum, B. P S.T., M.Sc., Ph.D.

In the industrial sector, the stability and security of the electric power system is the main aspect to ensure the continuity and reliability of the operation of a power system. PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang is a State-Owned Enterprise that was established as a pioneer in the subsidized urea fertilizer industry in support of the government's program to maintain national food safety. To always ensure the sufficiency of power needs and development efforts, PT. Pusri Palembang carried out the construction of the Pusri III-B Factory as a revitalization project to replace the two old factories, namely Pusri III and Pusri IV, which were considered to have old technology and wasteful use of energy.

Electric power generation in a power system often gets unavoidable disturbances such as sudden loading and generator trips. The inability of a generator to supply electrical energy is generally characterized by a decrease in frequency with the worst possibility that the system will lead to a total blackout. In order to maintain the security and stability of the electrical system so that the frequency value is within the permissible limits due to the addition of a new Pusri III-B factory, a transient stability analysis will be carried out with a case study of a loose generator and a frequency return scheme in the event of unwanted disturbances in the system through this final project. The Pusri III-B factory is preparing a load shedding mechanism for the electrical system.

Load shedding system planning is carried out using status indicated mechanisms and frequency standards by considering power flow and transient stability case studies from the Pusri III-B plant electrical system which are expected to be able to provide recommendations for the exact load shedding mechanism pattern with the minimum amount of load shedding according to the standard so that it can restore and secure the system quickly and the stability of the electrical system at the Pusri III-B Plant can be maintained.

Of the 23 schemes that have been implemented, the recommended load shedding scenario using the normal operating pattern status method can still minimize the amount of quantum of the existing load shedding owned by PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang but can maintain the stability of the electricity system in accordance with applicable regulations. Load shedding using the status method is superior to the three-step frequency method because it allows for over and under load shedding because the system only monitors the frequency response.

**Keywords:** *Transient Disturbance, Transient Stability, Load Shedding*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

“Analisis Kestabilan Transien dan Perencanaan Mekanikme *Load Shedding* akibat Penambahan Pabrik Pusri III-B di PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang”

Pada kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan, bimbingan, dan kerjasama kepada:

1. Dosen pembimbing Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T dan Ibu Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc. Ph.D. yang telah membimbing, mengawasi perkembangan, serta memberikan banyak masukan kepada penulis sejak awal diskusi topik hingga selesainya pengerjaan serta dari tugas akhir ini.
2. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro ITS khususnya bidang studi Teknik Sistem Tenaga yang telah memberikan ilmu dan membimbing penulis selama masa perkuliahan.
3. Ibu Salita Dewi Astuti Saleh dan Ayah Ali Sadikin selaku orang tua penulis, Hana Azzahra selaku adik penulis atas segala doa dan kasih sayang yang sangat besar dan selalu memberikan penulis motivasi dan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman e58, terutama Nefrisca Nadia Maaruf, Samara Fahira, Frida Dwiputri O., Arsy Huda, dan Farasyfa, serta teman-teman lain yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu menjadi *support system* terbaik selama masa perkuliahan penulis.
5. Mas Yusran Muhammad Maududi dan Mas Dimas Adhi Wibisono yang memberikan dukungan dan motivasi tiada hentinya hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
6. Nabilah Farihah, Astari Shadrina, Alyssa Quinta Salsabila, Shabrina Salsabila Putri yang menjadi sahabat dan pendengar yang baik dalam situasi dan kondisi apapun.
7. Rekan-rekan satu topik proteksi dan asisten LIPIST B-204 yang memberikan bantuan luar biasa dan suasana nyaman selama pengerjaan tugas akhir.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengalaman dan pengetahuan. Untuk itu segala kritik dan saran yang konstruktif akan penulis terima dengan senang hati untuk menyempurnakan tugas akhir ini. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Surabaya, Juni 2022

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
APPROVAL SHEET .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN DEPARTEMEN .....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	vii
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	viii
ABSTRAK .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxvii
BAB 1      PENDAHULUAN .....	1
1.1      Latar Belakang.....	1
1.2      Rumusan Masalah.....	2
1.3      Batasan Masalah .....	2
1.4      Tujuan .....	2
1.5      Manfaat .....	3
BAB 2      TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1      Hasil Penelitian Terdahulu.....	5
2.2      Dasar Teori.....	6
2.2.1      Kestabilan Sistem .....	6
2.2.2      Klasifikasi Kestabilan .....	7
2.2.3      Kestabilan Transien .....	12
2.2.4      Hubungan Sudut Rotor – Daya .....	15
2.2.5      Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan .....	16
2.2.6      Pengaturan Frekuensi.....	18
2.2.7      Pelepasan Beban ( <i>Load Shedding</i> ) .....	19
2.2.8      Standar Terkait Analisis Kestabilan Transien .....	22
BAB 3      METODOLOGI.....	27
3.1      Urutan Pelaksanaan Penelitian .....	27
3.1.1      Studi Literatur.....	27
3.1.2      Pengumpulan Data.....	27

3.1.3	Pemodelan Sistem Kelistrikan.....	28
3.1.4	Studi Kasus Kestabilan Transien.....	28
3.1.5	Analisis Hasil Simulasi Studi Kasus Kestabilan Transien.....	29
3.1.6	Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme <i>Load Shedding</i> .....	29
3.1.7	Pembuatan Laporan Tugas Akhir.....	29
3.2	Kondisi Eksisting Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang .....	29
3.2.1	Pembangkitan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang Setelah Penambahan Pabrik Pusri III-B.....	30
3.2.2	Sistem Distribusi di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.....	33
3.2.3	Pembebanan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang .....	34
3.3	Metode Pengerjaan .....	34
3.3.1	Skema <i>Load Shedding</i> Eksisting PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang .....	34
3.3.2	Pola Operasi Generator .....	34
3.3.3	Evaluasi dan Analisis Kestabilan Transien .....	36
3.3.4	Penentuan Skema <i>Load Shedding</i> .....	36
3.4	Bahan dan Peralatan yang Digunakan .....	39
3.4.1	<i>Software</i> ETAP Power Station Versi 12.6 .....	39
3.4.2	<i>Software</i> Microsoft Excel.....	40
BAB 4	HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN SISTEM KELISTRIKAN PT. PUSRI PALEMBANG .....	41
4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan.....	41
4.2	Studi Kasus Kestabilan Transien.....	41
4.3	Hasil Simulasi Kestabilan Transien.....	49
4.3.1	Simulasi Kestabilan Transien <i>Generator Outage</i> Tanpa Mekanisme <i>Load Shedding</i> (Skenario A).....	50
4.3.2	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan <i>Generator Outage</i> Skenario A .....	56
4.3.3	Simulasi Kestabilan Transien <i>Generator Outage</i> dengan Mekanisme <i>Load Shedding</i> (Skenario B).....	57
4.3.4	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan <i>Generator Outage</i> Skenario B.....	58
4.3.5	Simulasi Kestabilan Transien <i>Generator Outage</i> dengan Mekanisme <i>Load Shedding</i> (Skenario C).....	59
4.3.6	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan <i>Generator Outage</i> Skenario C.....	60
4.3.7	Simulasi Kestabilan Transien <i>Generator Outage</i> dengan Mekanisme <i>Load Shedding</i> (Skenario D).....	61

4.3.8	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan <i>Generator Outage</i> Skenario D .....	62
4.3.9	Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Hasil Simulasi Antar Skenario ....	63
4.4	Analisis Hasil Simulasi Kestabilan Transien .....	85
4.4.1	Perbandingan Total <i>Actual Load Load Shedding</i> Eksisting dan Rekomendasi .....	89
4.4.2	Perbandingan <i>Load Shedding</i> Eksisting Metode Status (Skenario B) pada Pola Operasi Lima Generator .....	90
4.4.3	Perbandingan <i>Load Shedding</i> Rekomendasi Metode Status (Skenario C) pada Pola Operasi Lima Generator.....	95
4.4.4	Perbandingan <i>Load Shedding</i> Metode Frekuensi (Skenario D) pada Pola Operasi Lima Generator.....	100
4.4.5	Perbandingan <i>Load Shedding</i> Eksisting dan Rekomendasi (Skenario B dan Skenario C) Metode Status pada Pola Operasi Empat Generator .....	110
4.4.6	Perbandingan <i>Load Shedding</i> Metode Frekuensi (Skenario D) Metode Status pada Pola Operasi Empat Generator.....	114
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	123
5.1	Kesimpulan.....	123
5.2	Saran .....	124
	DAFTAR PUSTAKA .....	125
	LAMPIRAN .....	127
	BIODATA PENULIS .....	303



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga] (IEEE Transactions on Power System Vol. 19, No. 2, May 2004) .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Grafik Hubungan Frekuensi (Hz) dengan Beban (MW) .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Respon Sudut Rotor terhadap Gangguan Transien .....	14
<b>Gambar 2. 4</b> Respon Generator ketika Mengalami Gangguan .....	16
<b>Gambar 2. 5</b> Representasi Rotor Mesin yang Membandingkan Arah Perputaran serta Medan Putar Mekanik dan Elektrik (a) Generator (b) Motor .....	17
<b>Gambar 2. 6</b> Blok Diagram Kerja Speed Governor .....	18
<b>Gambar 2. 7</b> Perubahan Frekuensi sebagai Fungsi Waktu akibat adanya Pelepasan Beban..	20
<b>Gambar 2. 8</b> Standar Operasi Frekuensi Steam Turbine Generator Generator (IEEE Std. C37.106-2003, 2004) .....	22
<b>Gambar 2. 9</b> Standar Batas Operasi Frekuensi Gas Turbin (Over/Under Frequency) .....	24
<b>Gambar 2. 10</b> Voltage Magnitude Event berdasarkan Standar IEEE 1195-1995 .....	24
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir (Flow Chart) Pelaksanaan Penelitian .....	27
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram Alir (Flow Chart) Pelaksanaan Simulasi .....	28
<b>Gambar 3. 3</b> Single Line Diagram PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang Setelah Penambahan Pabrik P3B.....	29
<b>Gambar 3. 4</b> Load Shedding dengan Trigger Status Circuit Breaker.....	38
<b>Gambar 3. 5</b> Load Shedding dengan Trigger Frekuensi.....	38
<b>Gambar 3. 6</b> Software ETAP Power Station 12.6.....	39
<b>Gambar 3. 7</b> Software Microsoft Excel .....	40
<b>Gambar 4. 1</b> Respon Frekuensi saat Generator 2006-J Outage dari Sistem .....	51
<b>Gambar 4. 2</b> Respon Tegangan saat Generator 2006-J Outage dari Sistem .....	52
<b>Gambar 4. 3</b> Respon Sudut Rotor saat Generator 2006-J Outage dari Sistem .....	52
<b>Gambar 4. 4</b> Respon Daya Mekanik saat Generator 2006-J Outage dari Sistem .....	53
<b>Gambar 4. 5</b> Respon Daya Elektrik saat Generator 2006-J Outage dari Sistem.....	54
<b>Gambar 4. 6</b> Respon Frekuensi saat Generator 3006-J Outage dari Sistem .....	55
<b>Gambar 4. 7</b> Respon Tegangan saat Generator 3006-J Outage dari Sistem .....	55
<b>Gambar 4. 8</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 Trip... 63	
<b>Gambar 4. 9</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 Trip... 63	
<b>Gambar 4. 10</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 Trip. 64	
<b>Gambar 4. 11</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 Trip. 64	
<b>Gambar 4. 12</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P1B Trip .....	65
<b>Gambar 4. 13</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P1B Trip .....	65
<b>Gambar 4. 14</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG Trip .....	66
<b>Gambar 4. 15</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG Trip .....	66

<b>Gambar 4. 16</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P3 Trip.....	67
<b>Gambar 4. 17</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P3 Trip.....	67
<b>Gambar 4. 18</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P1B Trip.....	68
<b>Gambar 4. 19</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P1B Trip.....	68
<b>Gambar 4. 20</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P2 Trip.....	69
<b>Gambar 4. 21</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P2 Trip.....	69
<b>Gambar 4. 22</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip.....	70
<b>Gambar 4. 23</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip.....	70
<b>Gambar 4. 24</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip.....	71
<b>Gambar 4. 25</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip.....	71
<b>Gambar 4. 26</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P3 Trip.....	72
<b>Gambar 4. 27</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P3 Trip.....	72
<b>Gambar 4. 28</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P3 Trip .....	73
<b>Gambar 4. 29</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P3 Trip .....	73
<b>Gambar 4. 30</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P1B Trip .....	74
<b>Gambar 4. 31</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P1B Trip .....	74
<b>Gambar 4. 32</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan STG Trip .....	75
<b>Gambar 4. 33</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan STG Trip .....	75
<b>Gambar 4. 34</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P2 Trip .....	76
<b>Gambar 4. 35</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P2 Trip .....	76
<b>Gambar 4. 36</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P4 Trip .....	77
<b>Gambar 4. 37</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P4 Trip .....	77
<b>Gambar 4. 38</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P1B Trip .....	78

<b>Gambar 4. 39</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P1B Trip .....	78
<b>Gambar 4. 40</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan STG Trip .....	79
<b>Gambar 4. 41</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan STG Trip .....	79
<b>Gambar 4. 42</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P2 Trip .....	80
<b>Gambar 4. 43</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P2 Trip .....	80
<b>Gambar 4. 44</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P4 Trip .....	81
<b>Gambar 4. 45</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P4 Trip .....	81
<b>Gambar 4. 46</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan STG Trip.....	82
<b>Gambar 4. 47</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan STG Trip.....	82
<b>Gambar 4. 48</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P2 Trip .....	83
<b>Gambar 4. 49</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P2 Trip .....	83
<b>Gambar 4. 50</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P4 Trip .....	84
<b>Gambar 4. 51</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P4 Trip .....	84
<b>Gambar 4. 52</b> Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P1B Trip.....	85
<b>Gambar 4. 53</b> Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P1B Trip.....	85
<b>Gambar 4. 54</b> Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip .....	91
<b>Gambar 4. 55</b> Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip .....	91
<b>Gambar 4. 56</b> Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip .....	92
<b>Gambar 4. 57</b> Perbandingan Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip .....	92
<b>Gambar 4. 58</b> Perbandingan Respon Daya Mekanik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip .....	93
<b>Gambar 4. 59</b> Perbandingan Respon Daya Mekanik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip .....	93
<b>Gambar 4. 60</b> Perbandingan Respon Daya Elektrik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip .....	94
<b>Gambar 4. 61</b> Perbandingan Respon Daya Elektrik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip .....	95

<b>Gambar 4. 62</b> Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip .....	96
<b>Gambar 4. 63</b> Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip .....	96
<b>Gambar 4. 64</b> Perbandingan Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip .....	97
<b>Gambar 4. 65</b> Perbandingan Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip .....	97
<b>Gambar 4. 66</b> Perbandingan Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip .....	98
<b>Gambar 4. 67</b> Perbandingan Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip .....	98
<b>Gambar 4. 68</b> Perbandingan Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip .....	99
<b>Gambar 4. 69</b> Perbandingan Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip .....	99
<b>Gambar 4. 70</b> Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	100
<b>Gambar 4. 71</b> Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	101
<b>Gambar 4. 72</b> Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	102
<b>Gambar 4. 73</b> Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	102
<b>Gambar 4. 74</b> Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	103
<b>Gambar 4. 75</b> Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	103
<b>Gambar 4. 76</b> Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	104
<b>Gambar 4. 77</b> Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	105
<b>Gambar 4. 78</b> Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	105
<b>Gambar 4. 79</b> Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	106
<b>Gambar 4. 80</b> Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip.....	107
<b>Gambar 4. 81</b> Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip.....	108
<b>Gambar 4. 82</b> Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip.....	108
<b>Gambar 4. 83</b> Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip.....	109
<b>Gambar 4. 84</b> Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip.....	110

<b>Gambar 4. 85</b> Perbandingan Respon Frekuensi Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip .....	111
<b>Gambar 4. 86</b> Perbandingan Respon Tegangan Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip .....	111
<b>Gambar 4. 87</b> Perbandingan Respon Sudut Rotor P4 Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip .....	112
<b>Gambar 4. 88</b> Perbandingan Respon Daya Mekanik STG Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip .....	113
<b>Gambar 4. 89</b> Perbandingan Respon Daya Mekanik STG Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip .....	113
<b>Gambar 4. 90</b> Respon Frekuensi pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	114
<b>Gambar 4. 91</b> Respon Tegangan pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	115
<b>Gambar 4. 92</b> Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	116
<b>Gambar 4. 93</b> Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	116
<b>Gambar 4. 94</b> Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip.....	117
<b>Gambar 4. 95</b> Respon Frekuensi pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	118
<b>Gambar 4. 96</b> Respon Tegangan pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	119
<b>Gambar 4. 97</b> Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	119
<b>Gambar 4. 98</b> Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	120
<b>Gambar 4. 99</b> Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip.....	121

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Standar Operasi Frekuensi Steam Turbine Generator (IEEE Std. C37.102-2006, 2007) .....	23
<b>Tabel 2. 2</b> Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah .....	25
<b>Tabel 2. 3</b> Skema Pelepasan Beban Enam Langkah .....	25
<b>Tabel 3. 1</b> Persebaran Generator pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	30
<b>Tabel 3. 2</b> Nilai yang Digunakan pada Simulasi untuk Controller Woodward 505E Generator STG .....	31
<b>Tabel 3. 3</b> Nilai yang digunakan pada simulasi untuk controller Gas Turbine Generator P2 .	32
<b>Tabel 3. 4</b> Nilai yang digunakan pada simulasi untuk controller Gas Turbine Generator P3 dan P4 .....	32
<b>Tabel 3. 5</b> Nilai yang digunakan pada simulasi untuk controller Gas Turbine Generator PIB .....	33
<b>Tabel 3. 6</b> Data Bus pada Sistem Kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang .....	33
<b>Tabel 3. 7</b> Pembangkitan Generator pada Tiap Skenario .....	35
<b>Tabel 3. 8</b> Kemungkinan Initial Condition .....	35
<b>Tabel 3. 9</b> Kemungkinan Skema Generator Trip Masing-Masing Pola Operasi .....	35
<b>Tabel 3. 10</b> Standar Operasi Frekuensi Basis 50 Hz Berdasarkan IEEE Std. C37.102-2006 .	37
<b>Tabel 4. 1</b> Skenario Simulasi Pelepasan Beban (Load Shedding) akibat Outage Generator ..	42
<b>Tabel 4. 2</b> Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (Load Shedding) akibat Outage Generator pada Skenario A.....	42
<b>Tabel 4. 3</b> Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (Load Shedding) akibat Outage Generator pada Skenario B.....	43
<b>Tabel 4. 4</b> Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban ( <i>Load Shedding</i> ) akibat <i>Outage Generator</i> pada Skenario C.....	46
<b>Tabel 4. 5</b> Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (Load Shedding) akibat Outage Generator pada Skenario D.....	48
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Simulasi Kestabilan Transien Tanpa Mekanisme Load Shedding (Skenario A) .....	50
<b>Tabel 4. 7</b> Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario A akibat Generator Outage .....	56
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme Load Shedding Eksisting Metode Status (Skenario B) .....	57
<b>Tabel 4. 9</b> Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario B akibat Generator Outage .....	58
<b>Tabel 4. 10</b> Hasil Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme Load Shedding Rekomendasi Metode Status (Skenario C).....	59
<b>Tabel 4. 11</b> Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario C akibat Generator Outage .....	60



<b>Tabel 4. 12</b> Hasil Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme Load Shedding Metode Status (Skenario D).....	61
<b>Tabel 4. 13</b> Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario D akibat Generator Outage .....	62
<b>Tabel 4. 14</b> Pengamatan Respon Generator dengan Load Shedding Eksisting Metode Status (Skenario B).....	87
<b>Tabel 4. 15</b> Pengamatan Respon Generator dengan Load Shedding Rekomendasi Metode Status (Skenario C) .....	88
<b>Tabel 4. 16</b> Pengamatan Respon Generator dengan Load Shedding Metode Frekuensi (Skenario D) .....	88
<b>Tabel 4. 17</b> Perbandingan Total Actual Load Pelepasan Beban Eksisting dan Rekomendasi	90

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang merupakan Badan Usaha Milik Negara yang didirikan sebagai pelopor industri pupuk urea bersubsidi untuk mendukung program pemerintah menjaga ketahanan pangan nasional. Di sektor industri, kestabilan pada sistem tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi dari suatu sistem tenaga listrik dalam pemenuhan kebutuhan produksi. Berdasarkan *paper IEEE Transactions on Power Systems* berjudul *Definition and Classification of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga, yaitu kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan (P. Kundur dkk., 2006). Kendati demikian, adanya perkembangan sistem tenaga listrik dari masa ke masa guna memenuhi kebutuhan pasokan energi bukan tanpa ada kekurangan. Pasalnya, baik pada sisi beban maupun pembangkitan secara otomatis akan timbul permasalahan mengenai kestabilan dan proteksi terhadap kondisi abnormal dari sistem tenaga listrik.

Untuk selalu memastikan tercukupinya kebutuhan daya serta upaya pengembangan, PT. Pusri Palembang melaksanakan program pembangunan Pabrik Pusri III-B sebagai proyek revitalisasi menggantikan dua pabrik lamanya yakni Pusri III dan Pusri IV yang dinilai telah berteknologi lama dan boros penggunaan energi. Kegiatan operasional Pabrik Pusri III-B disuplai oleh 4 unit pembangkit GTG (*Gas Turbine Generator*) dengan kapasitas total pembangkitan sebesar 48 MW, 1 unit STG (*Steam Turbine Generator*) dengan kapasitas total pembangkitan sebesar 23 MW, dan total beban keseluruhan sebesar 67,62 MW. *Single Line Diagram* PT. Pupuk Sriwidjaja pasca dilakukan penambahan Plan PIII-B tercantum pada **Gambar 3.1**

Dalam suatu sistem atau *plant* yang besar, apabila lebih dari dua generator yang bekerja secara bersamaan, kerugian besar mungkin dapat terjadi jika kontinuitas daya tidak stabil (L. Grigsby, 2012). Daya elektrik sebuah sistem kelistrikan akan terus berubah-ubah sesuai dengan kenaikan dan penurunan beban. Ketika daya mekanik pada poros penggerak awal tidak segera menyesuaikan besarnya beban listrik, maka frekuensi dan tegangan akan bergeser dari posisi normal yang mengakibatkan sistem mengalami berbagai macam gangguan layaknya *outage generator*, *motor starting*, dan gangguan hubung singkat. Jika gangguan tidak dihilangkan dalam kurung waktu tertentu, maka hal ini akan menyebabkan generator kehilangan sinkronisasi dengan sistem (IEEE Std. C37.106-2003, 2004). Hal tersebut dapat mempengaruhi kestabilan dan keamanan seluruh sistem. Kemungkinan terburuk dari terjadinya ketidakstabilan yang umumnya ditandai dengan adanya penurunan nilai frekuensi secara drastis adalah menyebabkan sistem mengalami pemadaman total (*black out*).

Demi terjaganya kestabilan sistem kelistrikan agar nilai frekuensi berada pada batas yang diizinkan akibat adanya penambahan pabrik baru Pusri III-B, melalui tugas akhir ini dilakukan analisis kestabilan transien akibat generator lepas serta skema pengembalian frekuensi apabila terjadi gangguan yang tidak diinginkan di Pabrik Pusri III-B yakni dengan merekomendasikan dan mengevaluasi mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) sistem kelistrikan terhadap skema pelepasan beban eksisting yang telah dimiliki oleh PT. Pusri. Perencanaan sistem *load shedding* dilakukan menggunakan mekanisme penetapan status dan standar frekuensi dengan

mempertimbangkan aliran daya dan studi kasus kestabilan transien dari sistem kelistrikan Pabrik Pusri III-B yang diharapkan mampu memberi rekomendasi pola mekanisme pelepasan beban secara tepat dengan pelepasan beban seminimal mungkin sesuai standar sehingga mampu memulihkan serta mengamankan sistem secara cepat dan kestabilan sistem kelistrikan di Pabrik Pusri III-B dapat dipertahankan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana respon dari frekuensi, sudut rotor, dan tegangan sebelum dan sesudah dilakukan analisis kestabilan transien?
2. Bagaimana penentuan metode dan lokasi beban yang akan dilepas secara tepat sehingga memberikan perbaikan frekuensi dan tegangan seefektif mungkin sesuai standar?
3. Bagaimana rancangan pola mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) yang tepat dan handal sesuai standar IEEE Std. C37.102-2006: *AC Generator Protection* akibat adanya penambahan Pabrik Pusri III-B di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Plant* yang digunakan adalah sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
2. Analisis kestabilan transien yang dilakukan hanya meliputi studi kasus pada *generator outage* yang sewaktu-waktu dapat terjadi pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
3. Pelepasan beban dilakukan seminimal mungkin, namun tetap menghindari kemungkinan *blackout* sistem.
4. Penentuan skema dilakukan menggunakan standar frekuensi dan standar pelepasan beban yang merujuk pada:
  - a) IEEE Std. C37.102-2006: *AC Generator Protection*
  - b) IEEE Std. C37.106-2003: *Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*
  - c) ANSI/IEEE Std. C37.106-1987

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang menjadi acuan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan Pabrik Pusri III-B terhadap sistem kelistrikan industri di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
2. Mengetahui respon dari frekuensi, tegangan, dan sudut rotor dan tegangan antara sebelum dan setelah dilakukan analisis kestabilan transien.
3. Mengetahui penentuan metode dan lokasi beban yang akan dilepas secara tepat sehingga memberikan perbaikan frekuensi dan tegangan seefektif mungkin sesuai standar dengan mempertimbangkan lokasi beban-beban penting.

4. Memperoleh rancangan pola mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) yang tepat dan handal sesuai standar (IEEE Std. C37.102-2006, 2007) akibat adanya penambahan Pabrik Pusri III-B di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

## **1.5 Manfaat**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi inspirasi dan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai acuan dasar dalam pengoperasian sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang yang baru agar sistem berjalan dengan stabil dan aman.
2. Sebagai pedoman dalam melakukan mekanisme *load shedding* yang handal dan tepat sesuai dengan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 terhadap sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang akibat adanya penambahan Pabrik Pusri III-B.
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai perencanaan dan evaluasi mekanisme *load shedding* serta stabilitas transien terutama dalam sistem kelistrikan industri.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terkait perencanaan sistem pelepasan beban (*load shedding*) yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa referensi studi yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu:

1. **Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pusri Akibat Penambahan Generator dan Penambahan Beban oleh Baghazta Akbar Ar-Zandhy** (Arzandhy dkk., 2017)

Untuk memenuhi kebutuhan produksi, PT. Pusri Palembang melakukan penambahan pabrik baru. Maka untuk menjaga kontinuitas sistem kelistrikan yang ada diperlukan penambahan satu unit pembangkit baru, pada mulanya ada 4 unit pembangkit yang beroperasi menjadi 5 unit pembangkit. Akibat penambahan pabrik baru ini, kestabilan transien pada plant belum dianalisis secara mendalam, sehingga perlu dilakukan studi stabilitas transien untuk mengetahui keandalan sistem saat terjadi transien. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis kestabilan transien akibat generator lepas, motor starting, dan hubung singkat kemudian dilakukan perancangan mekanisme *load shedding* agar sistem mampu mempertahankan kestabilannya dan kontinuitas aliran daya tetap terjaga (Arzandhy dkk., 2017).

Dari tugas akhir yang ditulis, didapat bahwa sistem load shedding dengan mekanisme standar frekuensi dan skema pelepasan beban tiga langkah menurut standar ANSI/IEEE C37.106-1987 yang dipilih penulis telah mampu menghadapi gangguan besar yang terjadi pada sistem akibat adanya penambahan generator dan beban di PT. Pusri. Namun, dalam tugas akhir ini belum dijelaskan alasan atau dasar pemilihan skema pelepasan beban tiga langkah dibandingkan skema pelepasan beban enam langkah jika mengacu pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dalam menjaga kestabilan sistem kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Selain itu dalam tugas akhir ini dari dua macam metode yang dapat digunakan untuk melakukan mekanisme *load shedding*, penulis baru hanya menggunakan salah satu metode saja yaitu mekanisme standar frekuensi. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat pengembangan yang dapat dilakukan pada tugas akhir tersebut. Salah satunya adalah menjalankan skenario pelepasan beban apabila menggunakan metode *status-indicated* lalu dibandingkan dengan mekanisme pelepasan beban menggunakan standar frekuensi seperti yang tertera pada tugas akhir.

2. **Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Akibat Penambahan Pembangkit Pada Sistem Kelistrikan New Island Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur oleh Aidatul Khoiriatis** (Khoiriatis, 2017).

Guna menunjang kontinuitas aliran daya pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur akibat adanya penambahan pabrik baru di area Tursina, maka diperlukan penambahan lima unit pembangkit baru (Khoiriatis, 2017). Akibat adanya penambahan pembangkit tersebut, dilakukan analisis mengenai kestabilan transien pada keseluruhan sistem saat terjadi gangguan dan perancangan pelepasan beban agar sistem dapat mempertahankan kestabilannya. Berbeda dari tugas akhir yang dituliskan dalam (Arzandhy dkk., 2017), dalam tugas akhir ini metode yang dipilih untuk melakukan load shedding adalah mekanisme *status-indicated*. Metode yang

dimaksud adalah melakukan pelepasan beban berdasarkan status tertentu yang telah direncanakan pada suatu sistem kelistrikan. Salah satunya adalah pada kasus *generator outage* sistem kelistrikan skala besar yang memerlukan lebih dari satu tahap *load shedding* sehingga untuk menanggulangi penurunan frekuensi yang cepat ditetapkan sebuah status pada *lockout relay* dimana beban akan dilepas secara bersamaan hingga sistem kembali stabil. Hasil dan perencanaan mekanisme *load shedding* yang didapat dari tugas akhir ini telah mampu menghadapi gangguan besar yang terjadi dalam sistem kelistrikan New Island Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur. Namun, dalam tugas akhir ini ditemukan banyak kelemahan dari kaidah penulisan dan tata bahasa dimana pemilihan kata yang digunakan masih kurang baik dan terdapat banyak kesalahan penulisan dalam tugas akhir.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Kestabilan Sistem

Sebuah sistem kelistrikan yang kompleks memiliki banyak beban dinamis dengan besar daya yang sangat bervariasi dalam rentang waktu tertentu. Beban dinamis sistem kelistrikan yang cenderung berubah setiap detiknya, membuat pasokan daya yang disalurkan oleh generator harus selalu diperhatikan agar dapat menyesuaikan kebutuhan beban. Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memenuhi beberapa syarat, yaitu (IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, 2004):

- a) *Reliability*  
Kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus.
- b) *Quality*  
Kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.
- c) *Stability*  
Kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami gangguan.

Kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan sinkronnya pada saat dan sesudah terjadi gangguan. Definisi ini berlaku juga untuk sistem yang beroperasi dengan menginterkoneksi beberapa generator (*multimachine*) (P. S. Kundur, 1994).

Stabilitas sistem ditentukan berdasarkan beberapa faktor-faktor pendukung, antara lain (Sulasno, 1993).

#### 1. Kapasitas Kemampuan Alternator

Semakin besar daya mampu sistem tersebut maka sistem akan semakin stabil.

#### 2. Sifat dan Kapasitas Beban

Pembebanan melebihi kapasitas dalam jangka waktu yang lama berpotensi mengganggu kestabilan sistem yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

#### 3. Gangguan

Sistem dengan jenis, lama, dan posisi gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan sementara (*temporary*) memiliki kestabilan yang lebih baik dibandingkan macam gangguan lainnya.

Sistem dapat dinyatakan stabil apabila terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada *prime mover* dengan daya elektrik yang disalurkan ke beban. Ketika sistem mengalami kelebihan daya elektrik maka kinerja dari rotor generator akan semakin terbebani pula yang akan menyebabkan terjadinya perlambatan pada rotor generator. Begitupula sebaliknya, dengan adanya kelebihan daya mekanik maka akan menyebabkan adanya percepatan pada putaran rotor karena generator menanggung beban yang semakin ringan. Percepatan dan perlambatan yang terjadi pada putaran motor secara terus menerus akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi. Apabila hal tersebut tidak ditangani dan dipulihkan dengan segera maka akan menyebabkan ketidakstabilan kian meluas dengan kemungkinan terburuk akan merusak sistem yang berpotensi menimbulkan *blackout*.

Saat sistem tidak sinkron setelah terjadi gangguan perlu dilakukan usaha agar mengembalikannya menjadi sinkron. Usaha ini dapat disebut juga sebagai periode transien. Cara mesin-mesin mempertahankan sinkronisasi pada saat akhir periode transien merupakan karakteristik utama dalam stabilitas. Jika respon sistem mengalami osilasi ketika terjadi gangguan lalu dapat teredam dengan sendirinya, maka sistem dapat dikatakan stabil. Namun jika osilasi terjadi secara terus menerus hingga periode yang lama maka sistem dikatakan tidak stabil (Hafidz, 2014)

Ketidakstabilan dalam sistem ditimbulkan dari adanya gangguan. Jika diklasifikasikan, terdapat 2 macam gangguan yang mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil dapat berupa perubahan beban yang berlangsung secara kontinu, sedangkan gangguan besar layaknya generator lepas (*outage generator*) dan hubung singkat.

### 2.2.2 Klasifikasi Kestabilan

Sebagai salah satu langkah dalam mempermudah analisis kestabilan, maka diperlukan pengelompokan sistem tenaga listrik. Berdasarkan *paper IEEE Definition and Classification of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga (IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, 2004):

1. Kestabilan Sudut Rotor
2. Kestabilan Frekuensi
3. Kestabilan Tegangan

Berdasarkan sifat gangguannya, kestabilan sudut rotor, frekuensi, dan tegangan dapat dikategorikan atas (Saadat, 1998):

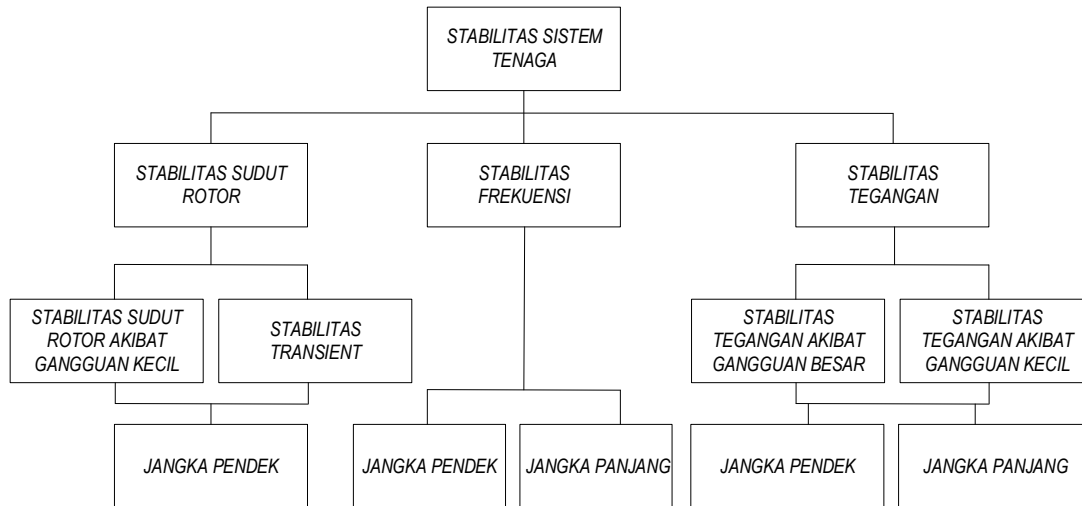
1. Kestabilan *Steady State*  
Kestabilan *Steady State* adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil atau fluktuasi beban.
2. Kestabilan Transien  
Kestabilan transien adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat



mendadak selama sekitar satu *swing* pertama dengan asumsi bahwa AVR dan governor belum bekerja.

### 3. Kestabilan Dinamik

Kestabilan dinamik adalah apabila setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) sistem mampu mempertahankan sinkronisasi hingga sistem dalam keadaan seimbang yang baru (stabilitas transien apabila AVR dan governor bekerja cepas dan diperhitungkan dalam analisis).



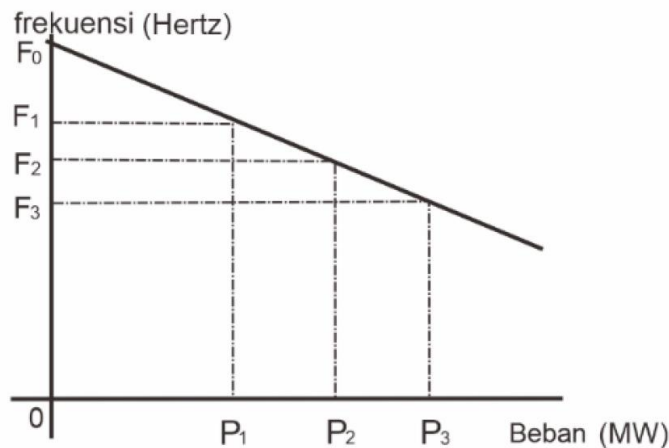
**Gambar 2. 1** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga] (*IEEE Transactions on Power System Vol. 19, No. 2, May 2004*)

Melalui **Gambar 2. 1** dapat diamati bahwa klasifikasi kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan berdasarkan durasi gangguannya dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu jangka pendek dan jangka panjang. Kestabilan sudut rotor termasuk dalam kategori gangguan jangka pendek yang diakibatkan oleh gangguan kecil dan kestabilan transien pada sistem. Berbeda halnya dengan kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan yang memiliki sub-kategori berdasarkan durasi jangka pendek dan jangka panjang. Kestabilan tegangan dapat disebabkan oleh adanya gangguan kecil ataupun gangguan besar.

#### 2.2.2.1 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan sistem tenaga untuk menjaga frekuensi *steady* setelah mengalami gangguan yang mengakibatkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban (P. Kundur et al., 2006). Pada kestabilan frekuensi sistem, berlaku prinsip bahwa daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus selalu sama dengan beban sistem. Jika daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil dibandingkan dengan beban sistem maka frekuensi turun dan berlaku sebaliknya. Titik keseimbangan (*Equilibrium point*) antara suplai daya sistem dengan beban harus dipertahankan demi menjaga sistem terhindar dari asinkronisasi pada sistem layaknya gangguan *generator outage*.

Permasalahan kestabilan frekuensi erat kaitannya dengan minimnya daya cadangan pembangkitan, koordinasi yang buruk pada peralatan kontrol dan peralatan proteksi, hingga ketidakmampuan peralatan untuk merespons sesuatu. Salah satunya adalah perputaran turbin. Jika turbin berputar melebihi putaran nominalnya, maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar sehingga nilai frekuensi akan semakin tinggi pula yang apabila tidak segera diatasi akan berpotensi merusak pembangkit hingga jaringan-jaringan transmisi dan distribusi terkhusus industri (IEEE C37.106-1987, 1987).



**Gambar 2. 2** Grafik Hubungan Frekuensi (Hz) dengan Beban (MW)

Ketika sebuah sistem mengalami gangguan frekuensi, tegangan akan berubah secara signifikan terutama dalam kondisi *islanding* yang dapat diatasi dengan pelepasan beban menggunakan metode *underfrequency load shedding*.

Berdasarkan klasifikasi durasinya, kestabilan frekuensi dibagi menjadi dua yakni jangka pendek dan jangka panjang. Salah satu fenomena kestabilan frekuensi jangka pendek dapat dilihat dari *underfrequency load shedding* pada pembentukan *undergenerated island* yang menyebabkan frekuensi menurun tiba-tiba sehingga mengganggu kestabilan dan berpotensi menimbulkan *blackout* sistem secara total selama beberapa detik. Sedangkan kestabilan frekuensi jangka panjang umumnya berkaitan dengan kontrol *governor* yang tidak dapat bekerja sehingga menyebabkan gangguan dengan durasi puluhan detik hingga menit.

#### 2.2.2.2 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron setelah mengalami gangguan. Stabilitas sudut rotor mengacu pada pertahanan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan mekanik mesin yang berada dalam sistem tersebut. Ketika sistem berada dalam kondisi *steady state*, torsi elektrik dan torsi mekanik masing-masing generator bergerak dengan kecepatan konstan. Apabila tidak mampu mencapai titik kesetimbangannya atau mengalami gangguan, pengaruh yang ditimbulkan adalah percepatan dan perlambatan ayunan sudut pada generator yang dapat memicu generator satu dengan yang lainnya kehilangan sinkronisasi.

Saat salah satu generator berputar lebih cepat dibandingkan yang lain, maka posisi sudut rotor relatif meningkat terhadap generator yang lebih lambat. Adanya selisih sudut antara mesin yang lebih cepat dengan yang lambat membentuk suatu hubungan antara daya dan sudut rotor. Menurut referensi (IEEE C37.106-1987, 1987). kestabilan sudut rotor diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan jenis gangguannya:

1. Kestabilan Sudut Rotor Gangguan Kecil
2. Kestabilan Sudut Rotor Gangguan Besar

#### **2.2.2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor Gangguan Kecil**

Kestabilan ini merupakan kemampuan sistem tenaga dalam mempertahankan keadaan sinkron ketika mengalami gangguan kecil. Studi stabilitas transien gangguan kecil terjadi pada rentang waktu 10-20 detik setelah adanya gangguan dan bergantung pada operasi awalnya. Jenis gangguan ini menyebabkan daya keluaran generator akan berubah-ubah sesuai dengan besarnya perubahan sudut rotor. Masalah kestabilan sudut rotor gangguan kecil umumnya dijumpai akibat kurangnya torsi sinkronisasi dan torsi damping.

#### **2.2.2.2.2 Kestabilan Sudut Rotor Gangguan Besar**

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga guna mempertahankan keadaan sinkron saat mengalami gangguan besar. Gangguan yang umumnya terjadi dapat berupa lepasnya generator dan hubung singkat pada saluran transmisi yang akan mengganggu kerja sistem kelistrikan. Studi stabilitas transien keadaan ini terjadi pada rentang waktu singkat yang berkisar antara 3-5 detik setelah adanya gangguan secara tiba-tiba. Di sistem kelistrikan yang lebih besar, rentang waktu dapat mencapai 10-20 detik setelah gangguan. Respon sudut rotor ketika mengalami gangguan besar akan menyimpang dimana hal ini dipengaruhi oleh ketidaklinearan hubungan sudut daya sehingga sistem akan kehilangan sinkronisasi yang menimbulkan ketidakstabilan pada ayunan pertama.

#### **2.2.2.3 Kestabilan Tegangan**

Kestabilan tegangan adalah kemampuan suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kestabilan tegangan pada semua bus dari sistem setelah mengalami gangguan dari kondisi operasi awal yang diberikan. Hal yang perlu diperhatikan menjaga stabilitas tegangan adalah kesetimbangan antara suplai daya dari pembangkit dengan jumlah pembebanannya. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi akibat hubung singkat di saluran transmisi, lepasnya beban pada sistem, dan pemadaman secara tiba-tiba. Selain itu, penurunan dan kenaikan tegangan di beberapa bus dapat dipengaruhi pula oleh ketidakstabilan frekuensi dan sudut rotor.

Keadaan utama yang mempengaruhi ketidakstabilan tegangan adalah terjadinya drop tegangan pada aliran daya aktif dan reaktif melalui reaktansi induktif jaringan transmisi. Hal tersebut menghambat pengaliran daya di jaringan transmisi dan mengurangi besar tegangan. Pembatasan aliran daya terjadi ketika generator menyentuh batas beban lebih arus jangkar. Gangguan akan meningkatkan permintaan daya reaktif listrik yang apabila melebihi kapasitas sumber daya reaktif tersedia dapat berpotensi mengancam stabilitas tegangan.

Berdasarkan tipe gangguannya, kestabilan tegangan dapat dikategorikan menjadi dua yaitu kestabilan tegangan akibat gangguan kecil dan besar. Sedang jika dikelompokkan berdasarkan rentang waktunya, kestabilan tegangan terbagi atas kestabilan tegangan jangka panjang dan kestabilan tegangan jangka pendek.

#### **2.2.2.3.1 Kestabilan Tegangan Gangguan Kecil**

Kestabilan tegangan gangguan kecil adalah kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada kondisi stabil akibat gangguan kecil layaknya perubahan beban yang tak menentu. Kestabilan tegangan akibat gangguan kecil dapat berguna untuk evaluasi tegangan sistem dalam merespon perubahan kecil beban listrik. Hal tersebut dikarenakan analisis kestabilan tegangan akibat gangguan kecil menggunakan teknik linear yang dapat memberikan informasi kestabilan tegangan terkait berdasarkan kondisi yang ada sehingga penyebab dan lokasi potensi gangguan dapat ditentukan.

#### **2.2.2.3.2 Kestabilan Tegangan Gangguan Besar**

Kestabilan tegangan gangguan besar adalah kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada kondisi stabil akibat gangguan besar layaknya *generator outage*, *motor starting*, dan hubung singkat. Kemampuan ini ditentukan oleh karakteristik sistem, beban, dan interaksi keduanya. Pengujian respon tidak linier (kinerja dinamis) dapat dilakukan untuk melakukan evaluasi stabilitas dengan cara mengamati interaksi peralatan seperti *tap changer* transformator, arus medan pada generator, dan kinerja pengaman sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan selama periode waktu yang dibutuhkan.

#### **2.2.2.3.3 Kestabilan Tegangan Jangka Pendek**

Berdasarkan referensi (IEEE C37.106-1987, 1987). ketika mempertahankan stabilitas tegangan jangka pendek pada sistem tenaga listrik, dapat mengakibatkan terjadinya beberapa fenomena gangguan yaitu kedip tegangan (*voltage sags*) dan kenaikan tegangan (*voltage swell*).

##### **1) Kedip Tegangan (*Voltage Sags*)**

Menurut (IEEE Std. 1159-1995, 1995), kedip tegangan didefinisikan sebagai variasi tegangan rms dengan rentang besar tegangan antara 90% hingga 10% dari tegangan nominal yang berlangsung selama 0,5 *cycle* sampai 1 menit. Pemicu terjadinya kedip tegangan dapat disebabkan oleh kesalahan sistem awal, namun tak jarang dijumpai hal tersebut juga dapat diakibatkan oleh *switching* beban berkapasitas besar ataupun *starting motor* dengan daya yang besar layaknya motor induksi dimana membutuhkan arus *start* yang tinggi sekitar 6-10 kali arus nominal. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat kedip tegangan jika tidak segera dilakukan mitigasi adalah menyebabkan gangguan pada peralatan sistem tenaga.

##### **2) Kenaikan Tegangan (*Voltage Swell*)**

Menurut IEEE *Monitoring Electric Power Quality* Std 1159-1995, kenaikan tegangan didefinisikan sebagai peningkatan tegangan rms atau arus pada frekuensi

daya dalam jangka waktu 0,5 *cycle* selama 1 menit. Kasus kenaikan tegangan lebih jarang dijumpai pada sistem tenaga listrik dibandingkan dengan kedip tegangan. Penyebab terjadinya kenaikan tegangan diakibatkan oleh kesalahan sistem awal dan kegagalan saluran satu fasa ke tanah sehingga sistem mengalami tegangan lebih yang bersifat sementara pada fase yang gagal tersebut. Selain itu, kenaikan tegangan dapat diakibatkan pula oleh *switching* beban berkapasitas besar seperti *switching* kapasitor *bank*. Efek dari adanya peningkatan nilai tegangan adalah terjadinya kegagalan pada komponen.

#### 2.2.2.4 Kestabilan Tegangan Jangka Panjang

Gangguan kestabilan tegangan jangka panjang didefinisikan sebagai cakupan penyimpangan/deviasi rms pada sistem tenaga selama lebih dari 1 menit menurut IEEE *Monitoring Electric Power Quality Std 1159-1995*. Contoh kasus gangguan yang terjadi dapat berupa tegangan lebih (*over voltage*) dan tegangan kurang (*under voltage*).

##### 1) Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Tegangan lebih atau *over voltage* jangka panjang dapat diartikan sebagai peningkatan nilai tegangan rms lebih dari atau sama dengan 110% (110%-120%) dalam jangka waktu lebih dari 1 menit. Terjadinya tegangan lebih dapat dipicu oleh adanya *switching* peralatan seperti pelepasan beban berkapasitas besar, *switching* kapasitor *bank*, dll. Faktor lain yang menyebabkan adanya tegangan lebih adalah pengaturan tegangan yang buruk seperti ketidaktepatan pengaturan *tap* transformator. Dampak yang dapat mungkin terjadi karena adanya tegangan lebih berkelanjutan adalah mengurangi umur peralatan sistem tenaga listrik.

##### 2) Tegangan Kurang (*Under Voltage*)

Tegangan kurang atau *under voltage* jangka panjang adalah penurunan nilai tegangan rms sebesar kurang dari atau sama dengan 90% (90%-80%) selama lebih dari 1 menit. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh adanya penambahan beban dengan daya yang besar, penyalaan *switching* kapasitor *bank*, dll. Akibat yang ditimbulkan dari fenomena tegangan kurang berefek terhadap kinerja sistem tenaga listrik. Salah satunya adalah *motor controller* yang apabila mengalami penurunan nilai tegangan lebih dari 70% - 80% dari tegangan nominal maka akan timbul lonjakan arus sehingga menyebabkan rugi panas, perubahan kecepatan motor induksi, dsb.

#### 2.2.3 Kestabilan Transien

Dikutip dari (Das, 2010) kestabilan transien dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik dalam mempertahankan kondisi sinkronisasi ketika sistem mengalami gangguan transien, yaitu gangguan besar secara tiba-tiba selama periode satu ayunan pertama dengan asumsi AVR dan *governor* belum bekerja.

Faktor utama yang dapat menyebabkan gangguan kestabilan transien diantaranya meliputi:

##### 1. Hubung Singkat (*Short Circuit*)

2. Pembangkit Lepas (*Generator Outage*)
3. Motor *Starting*
4. Penambahan Beban Secara Tiba-Tiba

Pada suatu kondisi operasi yang stabil dari sistem tenaga listrik, terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada *prime mover* dengan daya listrik atau beban. Pada keadaan tersebut, seluruh generator berputar pada kecepatan sinkron. Setiap kenaikan dan penurunan beban akan diikuti dengan perubahan daya *input* mekanik *prime mover* dari generator tersebut pula. Bila daya *input* mekanik tidak mampu mengimbangi perubahan beban maka kecepatan rotor generator (frekuensi sistem) dan tegangan akan menyimpang dari keadaan normal. Hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan sesaat yang besar antara daya mekanik pada generator dan daya listrik yang dihasilkan. Kelebihan daya mekanik terhadap daya listrik akan menyebabkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya. Apabila tidak segera dilakukan mitigasi pada gangguan tersebut maka percepatan dan perlambatan putaran rotor generator akan menyebabkan sistem kehilangan sinkronisasi (Marsudi D, 2006).

Oleh sebab itu, studi kestabilan transien harus dilakukan pada suatu sistem karena sebuah sistem dapat dinyatakan stabil pada kestabilan *steady state* namun belum tentu dengan kestabilan transiennya. Selain itu, studi transien dilakukan sebagai salah satu upaya uji kelayakan dan pertahanan ketika terjadi gangguan transien pada sistem.

### 2.2.3.1 Hubung Singkat (Short Circuit)

Gangguan hubung singkat merupakan suatu gangguan yang paling sering terjadi dan tidak dapat diprediksi dalam suatu sistem tenaga listrik. Penyebab gangguan hubung singkat beragam yang dapat diklasifikasikan menjadi faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal salah satunya berupa kegagalan isolasi. Sedang faktor eksternal diantaranya ialah sambaran petir, gangguan binatang, dan ranting pohon. Gangguan ini dapat pula terjadi karena adanya saluran fasa terhubung dengan *ground* atau dengan saluran fasa lainnya (Penangsang, 2008).

Secara istilah gangguan hubung singkat digolongkan menjadi dua, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan hubung singkat simetri atau gangguan hubung singkat seimbang adalah gangguan yang terjadi pada ketiga fasanya (L-L-L dan L-L-L-G), sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan hubung singkat asimetri merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir di setiap fasanya menjadi tidak seimbang (L-G, L-L-G, dan L-L) (Wahyudi, 2004).

Pada saat hubung singkat terjadi, aliran arus yang menuju titik gangguan bernilai besar sehingga tegangan di sekitar titik gangguan akan turun secara signifikan. Semakin besar arus hubung singkat maka tegangan di sekitar titik gangguan akan semakin rendah. Hal tersebut tentu mengganggu kestabilan sistem. Akibat yang ditimbulkan adalah dapat merusak komponen dan peralatan sistem tenaga.

### 2.2.3.2 Motor Starting

Ketika dilakukan *starting* pada motor, terdapat arus mengalir yang disebut dengan *locked rotor current* (LRC). LRC merupakan arus dengan besaran yang sangat tinggi dimana memiliki nilai yang bervariasi pada setiap motor yang dapat mencapai 6 hingga 8 kali arus nominal. Besarnya arus *starting* ini mengakibatkan *drop* tegangan pada sistem. Hal tersebut dikarenakan arus melalui impedansi saluran trafo sehingga *drop* tegangan pada saluran semakin membesar. Hal lain yang dapat ditimbulkan oleh arus *starting* adalah bertambahnya rugi-rugi daya aktif pada saluran yang dapat menurunkan frekuensi generator. *Drop* tegangan dan frekuensi akan mengganggu kestabilan sistem.

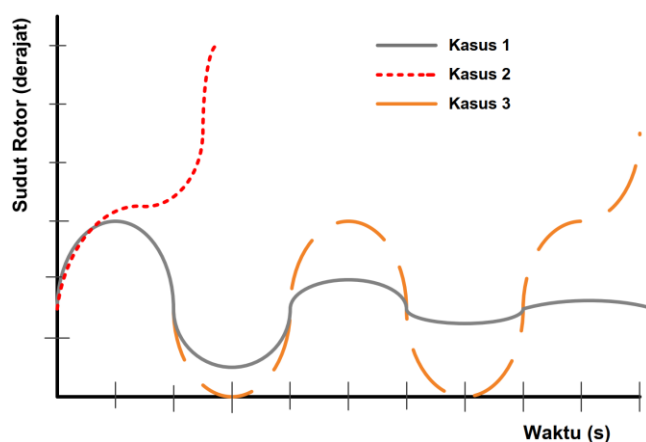
### 2.2.3.3 Penambahan Beban secara Tiba-Tiba

Penambahan beban dalam suatu sistem tenaga listrik akan mengakibatkan gangguan peralihan jika:

- Jumlah beban yang ditambahkan melebihi batas kestabilan keadaan untuk kondisi tegangan dan reaktansi tertentu.
- Beban dinaikkan hingga terjadi osilasi sehingga menyebabkan sistem mengalami ayunan yang melampaui titik kritis yang tak dapat kembali.

Ketika dilakukan penambahan beban penuh secara tiba-tiba, rotor generator akan mengalami *swing* dan getaran yang besar. Akibatnya, frekuensi sistem akan menurun secara drastis karena arus yang diperlukan sangat besar. Kondisi demikian memperbesar peluang sistem akan kehilangan sinkronasinya walau besar beban belum mencapai batas daya maksimumnya. Hal tersebut dipicu oleh *output* daya elektrik generator melampaui *input* daya mekanik generator atau daya yang dihasilkan *prime mover* serta berkurangnya energi kinetik generator. Sehingga putaran generator turun yang diiringi dengan penurunan frekuensi sistem pula. Sudut daya  $\delta$  akan bertambah besar dan melampaui sudut kritisnya, dampaknya generator akan lepas sinkron dan mengganggu stabilitas sistem.

Karakteristik mesin sinkron dalam kondisi *stable* dan *unstable* ditunjukkan pada **Gambar 2.3**



**Gambar 2.3** Respon Sudut Rotor terhadap Gangguan Transien

Melalui Gambar 2.3 terdapat tiga kasus. Kasus pertama sudut rotor mengalami kenaikan hingga nilai maksimum kemudian berosilasi sehingga sudut rotor kembali mencapai kondisi stabilnya. Di kasus kedua, rotor kehilangan sinkronisasi sehingga besar sudut rotor terus meningkat hingga mencapai kondisi *unstable* saat ayunan pertama. Pemicu utama hal tersebut adalah kurangnya sinkronisasi torsi. Pada kasus ketiga, sistem berada dalam keadaan *stable* saat ayunan pertama namun berubah menjadi *unstable* dalam kondisi akhirnya. Bentuk *unstable* pada kasus ini umumnya terjadi pada kondisi *postfault steady-state*, dan bukan akibat dari gangguan transien melainkan akibat dari gangguan dinamik (P. S. Kundur, 1994).

Selama periode transien, sudut rotor, frekuensi, serta tegangan akan berubah dan *magnitude* dari tegangan kumparan medan akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a) Arus induksi kumparan peredam (*dampers winding*) selama terjadinya perubahan nilai arus pada kumparan jangkar. Periode terjadi pada 0,1 s yang disebut dengan efek *subtransient*.
- b) Arus induksi pada kumparan medan selama terjadinya perubahan mendadak pada arus kumparan jangkar. Periode terjadi pada 2 s yang disebut dengan efek transien.

Kestabilan transien mampu dideteksi melalui gangguan yang dipertahankan dalam waktu singkat yang menyebabkan reduksi terminal mesin dan kemampuan transfer daya. Estimasi nilai transfer daya pada mesin tunggal yang terhubung ke *infinite bus* dapat dikalkulasi melalui persamaan berikut:

$$P = \frac{V_t V_\infty}{x} \sin \delta \quad (2.1)$$

Dimana,

$V_t$  = Tegangan terminal mesin

$V_\infty$  = Tegangan *infinite bus*

P berbanding lurus dengan  $V_t$ , sehingga apabila  $V_t$  tereduksi maka P akan tereduksi oleh nilai terkait. Untuk mencegah terjadinya reduksi dibutuhkan aksi yang cepat pada sistem eksitasi dalam memberikan eksitasi pada kumparan medan. Oleh karena itu, nilai  $V_t$  akan dipertahankan pada nilai yang layak. Aksi cepat juga dibutuhkan pada eksitasi apabila reaktansi X bertambah ketika terjadi *switching* (pemutusan).

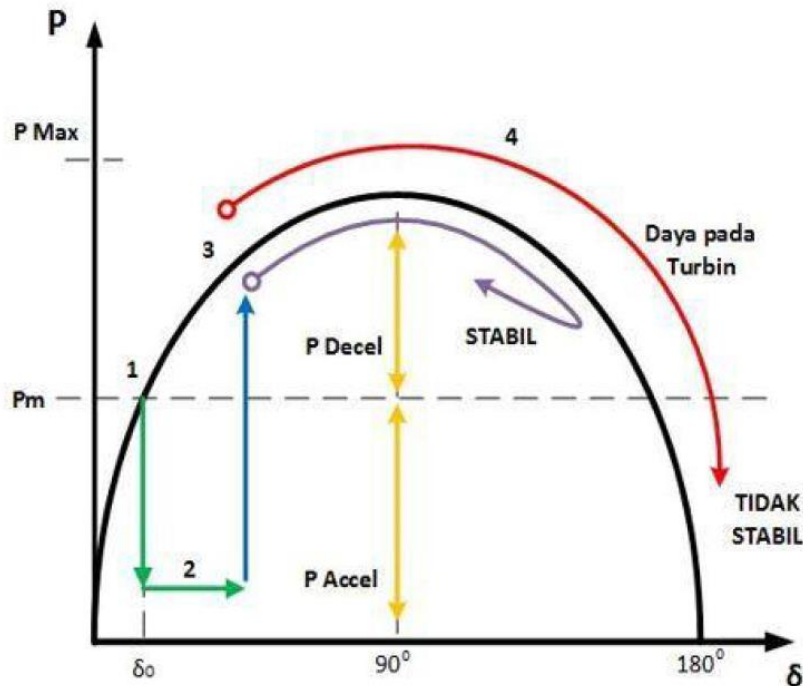
#### 2.2.4 Hubungan Sudut Rotor – Daya

Ketidakeimbangan antara daya pembangkit dengan beban menimbulkan suatu keadaan transien yang menyebabkan rotor mesin sinkron berayun karena adanya torsi yang memicu fluktuasi kecepatan rotor tersebut. Salah satu contohnya adalah terjadi ketidakseimbangan yang disebabkan oleh daya pembangkit yang berlebihan, dimana Sebagian besar energi yang berlebihan tersebut akan diubah menjadi energi kinetik yang dapat mengakibatkan percepatan sudut rotor bertambah besar. Namun perlu digarisbawahi bahwa jika kecepatan rotor bertambah



besar, bukan berarti sinkronisasi dari mesin tersebut akan hilang begitu saja. Faktor yang menentukan adalah perbedaan sudut rotor atau daya yang diukur terhadap referensi putaran sinkronisasi.

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat respon generator ketika mengalami gangguan pada sistem (IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, 2004).



**Gambar 2. 4** Respon Generator ketika Mengalami Gangguan

Kadaan generator ketika belum terjadi gangguan (*pre-fault*) ditunjukkan pada periode angka 0 hingga 1. Dari titik kerja awal tersebut, dapat diketahui bahwa timbulnya gangguan pada  $\delta_0$  mengakibatkan *output* daya generator turun secara drastis. Hal tersebut memunculkan selisih antara *output* daya listrik dengan daya mekanik turbin (posisi 2) sehingga rotor generator mengalami percepatan dan sudut rotor/daya bertambah besar. Saat gangguan perlahan menghilang, *output* daya generator akan pulih kembali pada harga yang sesuai dengan kurva  $p-\delta$  diatas.

Setelah gangguan hilang (*post-fault*) pada posisi 3, *output* daya generator menjadi lebih besar dibandingkan daya mekanik turbin. Hal tersebut menyebabkan perlambatan pada rotor generator. Apabila terdapat torsi lawan—penyeimbang percepatan yang terjadi selama gangguan—yang cukup setelah gangguan tersebut hilang, generator akan stabil setelah *swing* (ayunan) pertama dan kembali ke titik kerja dengan estimasi waktu 0,5 detik. Namun apabila torsi lawan tersebut tidak cukup besar, sudut rotor/daya akan terus bertambah besar hingga sistem dapat kehilangan sinkronisasi (Grainger & Stevenson, 1994).

### 2.2.5 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

Persamaan yang mengatur putaran rotor suatu mesin sinkron didasarkan pada prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa momen putar percepatan (*accelerating torque*)

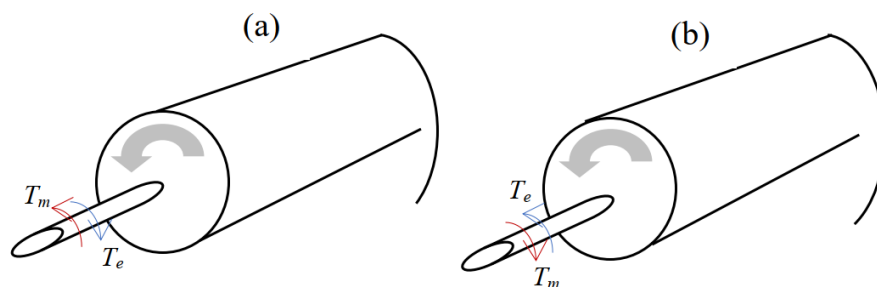
merupakan hasil kali dari momen-momen kelembaman (*moment of inertia*) rotor dan percepatan sudutnya. Dalam sistem unit MKS untuk persamaan ayunan generator sinkron dapat dituliskan sebagai berikut:

$$J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.2)$$

dimana,

- $J$  : Momen inersia total dari massa rotor dalam kg-m<sup>2</sup>
- $\theta_m$  : Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (*stationary*) dalam radian mekanik (rad)
- $T_a$  : Momen putar kecepatan percepatan bersih (*net*) (N-m)
- $T_m$  : Momen putar mekanik atau poros penggerak yang diberikan oleh *prime mover* dikurangi dengan momen putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m)
- $T_e$  : Momen putar elektrik atau elektromagnetik (N-m)
- $t$  : Waktu dalam detik (s)

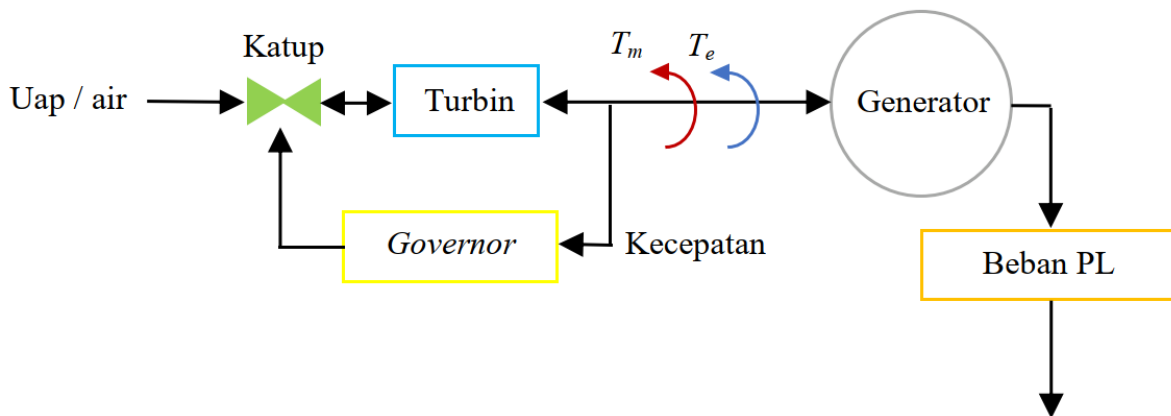
Saat torsi mekanik  $T_m$  dianggap positif pada generator sinkron, maka hal tersebut menandakan bahwa  $T_m$  merupakan torsi yang memiliki kecenderungan untuk mempercepat rotor dalam arah putaran  $\theta_m$  yang positif. Begitupula sebaliknya, jika  $T_m$  bernilai negatif, meandakan bahwa  $T_m$  memiliki kecenderungan untuk memperlambat rotor dalam arah putaran  $\theta_m$  yang positif. Representasi perbandingan arah putaran rotor mesin serta medan putar mekanik dan elektrik ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sementara untuk generator yang bekerja dalam keadaan tetap (*steady state*),  $T_m$  dan  $T_e$  adalah sama sedangkan momen putar  $T_a$  sama dengan nol. Dalam keadaan tersebut tidak terdapat percepatan atau perlambatan terhadap massa rotor dan kecepatan tetap resultan adalah kecepatan sinkron. Massa yang berputar meliputi rotor dari generator dan *prime mover* dikatakan dalam keadaan sinkron pada sistem daya tersebut.



**Gambar 2. 5** Representasi Rotor Mesin yang Membandingkan Arah Perputaran serta Medan Putar Mekanik dan Elektrik (a) Generator (b) Motor

### 2.2.6 Pengaturan Frekuensi

Besarnya nilai frekuensi dalam suatu sistem kelistrikan ditentukan oleh kecepatan putar turbin. Semakin konstan putaran suatu turbin maka akan didapatkan nilai frekuensi yang konstan pula. Salah satu langkah yang dapat dilakukan dalam menjaga nilai frekuensi adalah melakukan pengaturan kecepatan *speed governor*. Pada **Gambar 2. 6** ditunjukkan diagram sederhana cara kerja *speed governor*.



**Gambar 2. 6** Blok Diagram Kerja *Speed Governor*

Keterangan:

$T_m$	:	Torsi Mekanik
$P_m$	:	Daya Mekanik
$T_e$	:	Torsi Elektrik
$P_e$	:	Daya Elektrik
$P_L$	:	Daya Beban

Ketika terdapat perubahan beban, dalam waktu yang bersamaan pada generator akan mengalami perubahan torsi elektrik ( $T_e$ ). Akibatnya, akan terdapat selisih antara torsi elektrik dengan torsi mekanik yang menimbulkan perbedaan kecepatan. Perbedaan tersebut akan dirasakan oleh *governor* (P. Kundur dkk., 2006).

*Governor* bekerja sesuai dengan besar daya aktif yang terdapat pada sistem. Persediaan daya aktif sistem harus sesuai dengan kebutuhan agar frekuensi tetap berada dalam batas yang diizinkan. Penyesuaian daya aktif dapat dilakukan dengan mengendalikan torsi mekanik untuk menggerakkan generator yaitu dengan cara mengatur pemberian bahan bakar turbin oleh *governor* yang membuka atau menurup katup (*valve*) bahan bakar. Ketika frekuensi turun dari nilai nominal, *governor* akan menambah kapasitas bahan bakar, berlaku pula untuk hubungan sebaliknya dimana saat frekuensi naik maka *governor* akan mengurangi kapasitas bahan bakar. Mode operasi *speed governor* dikategorikan menjadi dua, yakni:

- a) Mode Droop
- b) Mode Isochronous

#### 2.2.6.1 Mode Droop

Mode droop merupakan suatu kondisi dimana *governor* telah memiliki *set point* daya mekanik yang besarnya sesuai dengan *rating* generator atau menurut kebutuhan. Melalui adanya *fixed setting*, generator akan memiliki nilai *output* daya listrik yang tetap sehingga perubahan beban tidak akan mempengaruhi putaran turbin dimana daya berbanding lurus dengan putaran.

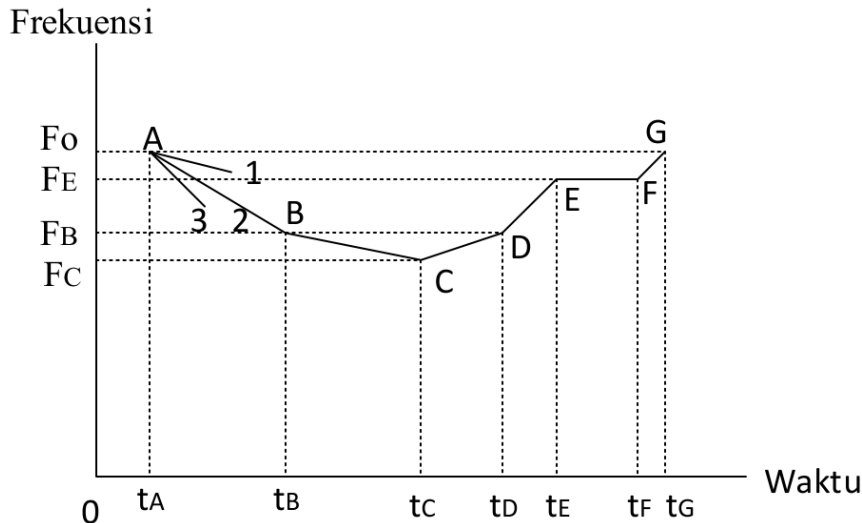
#### 2.2.6.2 Mode Isochronous

Mode isochronous merupakan mode operasi dimana *set point* putaran generator ditentukan berdasarkan kebutuhan daya sistem secara *real time*. Governor akan menyesuaikan nilai *output* daya mekanik turbin agar memiliki besar yang sesuai dengan kebutuhan daya listrik. Pengaturan *governor* dilakukan berdasarkan *logic control* pabrikan generator. Jika terdapat perubahan beban, *governor* akan menentukan *set point* baru sesuai dengan beban aktualnya. Mode isochronous dapat menjaga frekuensi sistem berada dalam batas yang diizinkan sehingga generator tidak mengalami *loss of synchronization* (Aji, 2014).

#### 2.2.7 Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

Salah satu upaya dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik apabila terjadi gangguan yang menyebabkan besarnya suplai daya yang dihasilkan pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban adalah dengan melakukan mekanisme pelepasan beban atau *load shedding*. *Load shedding* adalah pelepasan beban secara sengaja dengan pemutusan beban tertentu oleh sistem karena kejadian abnormal untuk mempertahankan integritas jaringan dan menghindari pemadaman yang lebih besar (Noviyani et al., 2016) Pelepasan beban juga merupakan salah satu langkah korektif untuk menjaga keseimbangan antara jumlah suplai daya dengan permintaan beban. Terlepasnya sebuah pembangkit (*outage generator* atau *trip*) akan memperlambat *prime mover* generator karena memikul beban yang melebihi kapasitas. Apabila tidak segera ditindaklanjuti maka dapat memicu turunnya nilai frekuensi sistem diluar batas/standar yang diizinkan.

Pokok masalah pelepasan beban di suatu sistem adalah penentuan jumlah pelepasan beban, macam beban yang dilepaskan pertahap, frekuensi, dan *time delay* yang direncanakan untuk setiap pelepasan beban. Keadaan kritis pada sebuah sistem mampu dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Respon frekuensi akibat kehilangan daya diilustrasikan pada **Gambar 2. 7**.



**Gambar 2. 7** Perubahan Frekuensi sebagai Fungsi Waktu akibat adanya Pelepasan Beban

Ketika  $t = t_A$ , sistem mulai kehilangan daya akibat lepasnya pembangkit sehingga frekuensi menurun secara tajam. Penurunan frekuensi sistem dapat diamati melalui garis 1, 2, atau 3 bergantung pada besarnya kapasitas pembangkit yang lepas dibandingkan dengan kebutuhan beban yang tersedia. Frekuensi akan semakin cepat menurun bila daya yang hilang semakin besar nilainya. Selain itu, nilai inersia juga dapat mempengaruhi laju penurunan frekuensi. Berikut penjelasan detail mengenai **Gambar 2. 7**:

- Misal, penurunan frekuensi terjadi pada garis 2. Terlihat bahwa pada garis 2 frekuensi turun secara drastis. Ketika frekuensi mencapai  $F_B$  maka akan dilakukan mekanisme *load shedding* tahap 1 (titik B). Melalui adanya *load shedding* tahap 1 maka akan memperlambat penurunan frekuensi.
- Ketika terjadi penurunan frekuensi hingga  $F_C$  maka akan dilakukan *load shedding* tahap 2 (titik C). Dengan adanya *load shedding* tahap 2 maka frekuensi sistem menjadi naik namun kenaikan frekuensi dianggap masih terlalu lambat sehingga untuk mencapai frekuensi normal akan membutuhkan waktu yang lama.
- Saat frekuensi mencapai frekuensi  $F_B$  maka perlu dilakukan *load shedding* tahap 3 (titik D). Melalui adanya *load shedding* tahap 3 mencapai frekuensi normal dapat dilakukan sedikit lebih cepat namun kecepatan kenaikannya masih terlalu lambat guna mencapai frekuensi normal.
- Maka dari itu, ketika mencapai frekuensi  $F_E$  dilakukan *load shedding* tahap 4 (titik E). *Load shedding* tahap 4 membuat frekuensi sistem menjadi stabil.
- Namun, kestabilan frekuensi sistem dianggap masih dibawah standar sehingga ketika  $t = t_F$  dilakukanlah *load shedding* tahap 5 (titik F). *Load shedding* tahap 5 akan mengembalikan frekuensi sistem kembali normal.

Pelepasan beban (*load shedding*) dapat dilakukan menggunakan dua cara, yakni:

1. Pelepasan Beban secara Manual (*Manual Load Shedding*)
2. Pelepasan Beban secara Otomatis (*Automatic Load Shedding*)

### **2.2.7.1 Pelepasan Beban Secara Manual (*Manual Load Shedding*)**

*Manual load shedding* adalah pelepasan beban yang dilakukan dengan cara membuka circuit breaker yang dilakukan oleh operator. Skema pelepasan beban secara manual digunakan dalam keadaan yang tidak begitu penting atau saat kontrol load shedding tidak bekerja dalam keadaan normal. Misal, adanya penambahan beban yang melebihi kapasitas pembangkit atau timbulnya gangguan yang menyebabkan turunnya tegangan dan frekuensi pada sistem. Saat terjadi keadaan darurat layaknya penurunan tegangan hingga mencapai 80%, operator akan mengambil inisiatif untuk melakukan pelepasan beban dalam mempertahankan kestabilan sistem.

Kekurangan dari cara pelepasan ini adalah harus memperkerjakan tenaga operator yang banyak, pelepasan beban seringkali melebihi kebutuhan yang dikehendaki, dan adanya faktor keterlambatan dalam tindakan operator yang dapat berakibat fatal pada stabilitas sistem.

### **2.2.7.2 Pelepasan Beban Secara Otomatis (*Automatic Load Shedding*)**

*Automatic load shedding* adalah skema pelepasan beban secara otomatis yang bertujuan untuk menyeimbangkan daya beban dan kapasitas pembangkit dalam kondisi darurat. Kondisi darurat yang dimaksud seperti adanya pembangkit yang tidak aktif secara tiba-tiba yang menyebabkan daya beban lebih besar dibandingkan kapasitas pembangkitan. Pelepasan beban secara otomatis umumnya dilakukan dengan menggunakan rele berdasarkan sensor-sensor tertentu.

#### **2.2.7.2.1 Pelepasan Beban secara Otomatis Menggunakan Underfrequency Relay (81U)**

Pelepasan beban otomatis menggunakan *underfrequency relay* didasari pada besarnya penurunan frekuensi yang terjadi pada sistem. Perencanaan dan *setting* rele *underfrequency* untuk *load shedding* harus dalam kondisi beban lebih sehingga generator tidak mampu memenuhi kebutuhan beban. Kelebihan beban yang ditanggung oleh generator akan menyebabkan frekuensi sistem menurun. Saat menghindari *black out* akibat *overload* pembangkitan generator maka secara otomatis beban akan terlepas sendiri sesuai dengan setting rele *underfrequency*.

Pelepasan beban untuk metode ini dilakukan secara bertahap dan tidak dalam satu waktu. Hal tersebut dilakukan sebagai upaya menghindari terjadinya *overvoltage*. Pengaturan rele *underfrequency* harus disesuaikan dengan tahapan pelepasan beban. Penempatan rele *underfrequency* diletakkan pada *substation* dengan menginterkoneksi *circuit breaker* pada *feeder* yang ingin dilepas.

#### **2.2.7.2.2 Pelepasan Beban secara Otomatis Menggunakan Lockout Relay (86)**

Pelepasan beban secara otomatis menggunakan *lockout relay* dapat disamaartikan dengan pelepasan beban menggunakan status. Pelepasan beban ini dilakukan berdasarkan status tertentu yang telah dirancang dan ditetapkan dalam pada sebuah sistem kelistrikan. Sebagai contoh, dalam kasus *generator outage*, sistem kelistrikan skala besar memerlukan tahapan *load shedding* agar dapat menanggulangi penurunan nilai frekuensi untuk itu maka ditetapkan

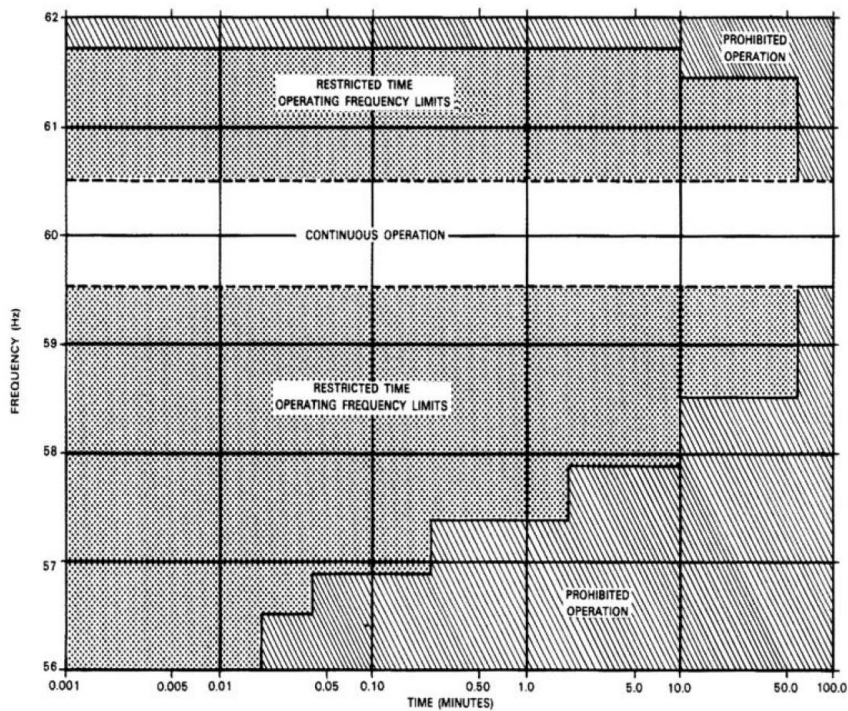
sebuah status pada *lockout relay* dimana beban akan dilepas secara bersamaan untuk mengembalikan kestabilan sistem.

### 2.2.8 Standar Terkait Analisis Kestabilan Transien

Pengaplikasian studi kestabilan transien disimulasikan menggunakan perangkat lunak untuk mengetahui keadaan sistem sebelum dan sesaat setelah terjadi gangguan. Standar internasional digunakan sebagai acuan dalam melakukan analisis kestabilan sistem tenaga listrik.

#### 2.2.8.1 Standar Frekuensi

Setiap produsen mampu memberikan karakteristik operasi normal terhadap peralatan yang dibuatnya. Seperti turbin uap salah satunya. Produsen umumnya memiliki data berupa batas kemampuan turbin saat beroperasi yang dijadikan landasan pengoperasian sebagai betuk antisipasi perlindungan peralatan dalam mencegah risiko kerusakan peralatan. Berdasarkan IEEE Std. C37.106-2003 (*Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987*), batasan operasi pada turbin uap yang diizinkan dapat diamati melalui **Gambar 2. 8**.



**Gambar 2. 8** Standar Operasi Frekuensi Steam Turbine Generator Generator (IEEE Std. C37.106-2003, 2004)

Pada **Gambar 2. 8** diatas, terdapat 3 daerah operasi untuk *steam turbine generator*, yaitu:

1. *Restricted Time Operating Frequency Limits*

Daerah frekuensi yang masih diizinkan namun bersifat sementara bergantung pada besaran frekuensi dan waktu. Semakin besar penurunan frekuensi maka semakin pendek durasi waktu yang diizinkan untuk kondisi tersebut.

2. *Prohibited Operation*

Daerah frekuensi terlarang dimana frekuensi tidak diizinkan untuk menyentuh dan mencapai daerah tersebut.

3. *Continuous Operation*

Daerah frekuensi normal.

Melalui gambar diatas, batas frekuensi antara 59,5 Hz – 60,5 Hz merupakan batas normal operasi *steam turbine generator*. Sedangkan batas frekuensi diatas 60,5 Hz dan dibawah 59,5 Hz menunjukkan batas larangan frekuensi turbin uap beroperasi. Batas frekuensi yang disebutkan sebelumnya merupakan batas frekuensi dengan standar 60 Hz. Sehingga, jika dikonversi menjadi frekuensi dengan standar 50 Hz, maka 59,5 Hz setara dengan 49,58 Hz (99,16%) dan 60,5 Hz menjadi 50,42 Hz (100,83%).

Standar terbaru yang diterapkan dalam menentukan operasi frekuensi yang diizinkan adalah ANSI/IEEE Std. C37.102-2006: *AC Generator Protection*. Standar tersebut menggunakan frekuensi 60 Hz sehingga dibutuhkan penyesuaian pula untuk mengubahnya menjadi frekuensi 50 Hz, mengingat frekuensi yang digunakan pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang bernilai 50 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE Std. C37.102-2006: *AC Generator Protection*, batas frekuensi maksimal saat terjadi gangguan transien adalah 61,7 Hz, sehingga apabila diubah dalam frekuensi 50 Hz, batas maksimalnya menjadi 51,5 Hz. Adapun operasi frekuensi yang diizinkan berdasarkan standar ANSI/IEEE Std. C37.102-2006: *AC Generator Protection* dapat dilihat pada **Tabel 2. 1** berikut ini:

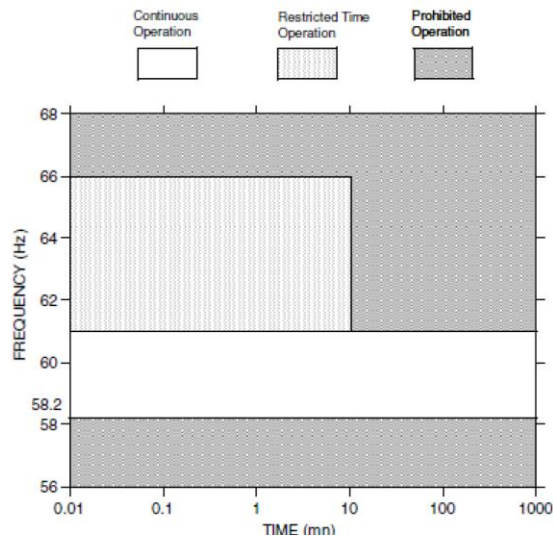
**Tabel 2. 1** Standar Operasi Frekuensi Steam Turbine Generator (IEEE Std. C37.102-2006, 2007)

Remarks	Frequency Range (Hz)	Time (Up to)	Keterangan
Prohibited operation	>61.8	Prohibited	Over frequency
Restrictive operation	60.50 – 61.8	10 min	
Continuous operation	59.49 – 60.50	Continuous	Normal
Restrictive operation	58.50 – 59.49	50 min	Underfrequency
Restrictive operation	57.80 – 58.50	10 min	
Restrictive operation	57.20 – 57.80	3 min	
Prohibited operation	<57.2	Prohibited	

Standar batas operasi frekuensi berbeda dapat dijumpai pula bergantung pada karakteristik pembangkit yang digunakan. *Gas Turbine Generator* misalnya yang berbeda dari turbin uap terutama pada media yang digunakan dalam menggerakkan turbin. Dimana pada GTG terdapat proses kompresi udara dan pencampuran dengan bahan bakar sehingga



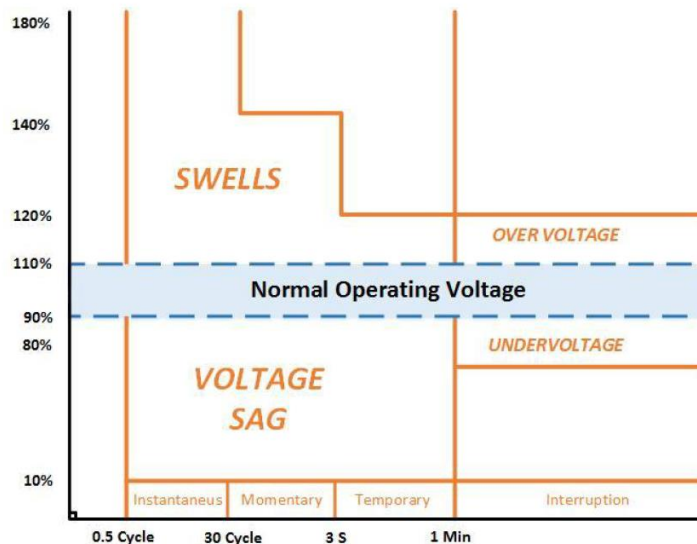
menghasilkan gas buang panas. Gas tersebut kemudian disalurkan menuju turbin yang telah terpasang pada poros. Poros inilah yang berputar untuk menggerakkan generator. Pada Gambar 2.7 berikut ditunjukkan standar batas operasi frekuensi gas turbin.



**Gambar 2. 9** Standar Batas Operasi Frekuensi Gas Turbin (*Over/Under Frequency*)

### 2.2.8.2 Standar Tegangan

Secara umum proses penyaluran daya sistem tenaga listrik dilakukan melalui jarak yang jauh sehingga potensi adanya *drop* tegangan dan rugi-rugi transmisi perlu diperhatikan. **Gambar 2. 10** memvisualisasikan batasan normal operasi tegangan pada kondisi transien hingga *steady state* berdasarkan standar IEEE 1195-1995.



**Gambar 2. 10** Voltage Magnitude Event berdasarkan Standar IEEE 1195-1995

Standar kedip tegangan menggunakan *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* (IEEE Std 1159-1995, 1995) Pada **Gambar 2. 10** ditunjukkan bahwa

untuk kedip tegangan memiliki batas nilai yang diperbolehkan sebesar 10% untuk *momentary* selama 3 detik dan *temporary* selama 1 menit.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai penyalur listrik utama di Indonesia memiliki standar terhadap tegangan nominal untuk kondisi normal yang harus dipertahankan dengan rincian sebagai berikut: (PLN, 1982)

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

### 2.2.8.3 Standar Pelepasan Beban

*Load shedding* atau pelepasan beban adalah pemutusan beban dari sumber yang sengaja dilakukan untuk mencegah penurunan frekuensi. Saat beban berada dalam kondisi kekurangan suplai daya maka tidak diizinkan untuk melepas beban dalam jumlah yang besar. Mengacu pada standar (IEEE C37.106-1987, 1987), terdapat dua skema pelepasan beban, yaitu pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah yang ditunjukkan pada **Tabel 2. 2** dan **Tabel 2. 3**

**Tabel 2. 2** Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

Langkah	Frekuensi Jatuh (Hz)		%	Persentase Load Shedding (%)	Waktu Sensing Relay (Cycle)
	Sistem 60 (Hz)	Sistem 50 (Hz)			
1	59,3	49,417	98,83	10	6
2	58,9	49,08	98,16	15	6
3	58,5	48,75	97,5	<i>As required to arrest decline before 58.2 Hz</i>	

**Tabel 2. 3** Skema Pelepasan Beban Enam Langkah

Langkah	Frekuensi Jatuh (Hz)		%	Persentase Load Shedding (%)	Waktu Sensing Relay (Cycle)
	Sistem 60 (Hz)	Sistem 50 (Hz)			
1	59,5	49,58	99,16	10	6
2	59,5	49,33	98,66	10	6
3	58,8	49	98	5	6
4	58,8	49	98	5	14
5	58,4	48,67	97,34	5	14
6	58,4	48,67	97,34	5	21

Penentuan banyaknya langkah skema pelepasan beban dilakukan berdasarkan kebutuhan pelepasan beban. Skema pelepasan beban tiga langkah lebih umum dijumpai dan digunakan pada sistem kelistrikan industri. Apabila dengan menggunakan skema pelepasan beban tiga langkah belum dapat mengembalikan kestabilan frekuensi maka dilakukan skema pelepasan beban enam langkah.

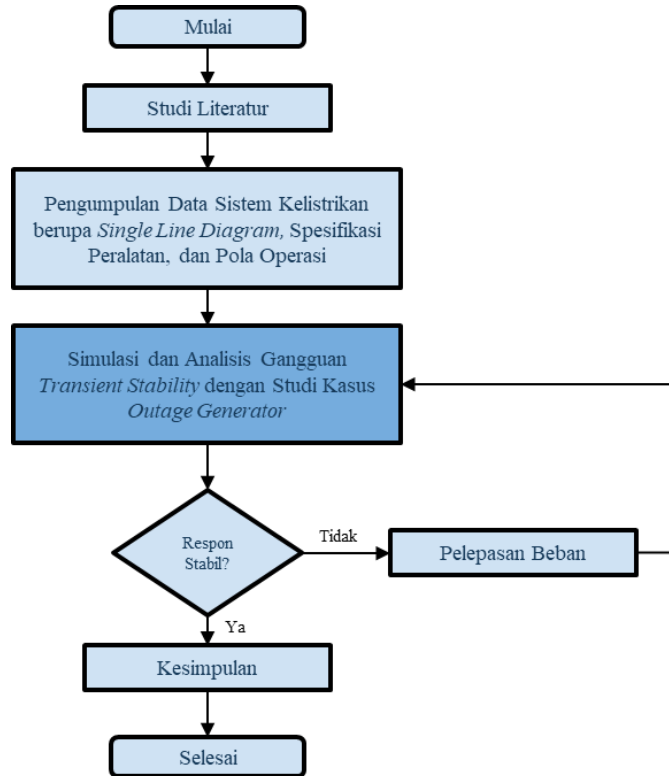
Untuk langkah masing-masing skema pelepasan beban, tiga langkah dan enam langkah dimaksudkan sebagai maksimal langkahnya. Jika dengan hanya satu langkah dan dua langkah—apabila menggunakan skema pelepasan beban tiga langkah—mampu membuat sistem stabil dan berada pada standar, maka cukup melakukan *load shedding* pada 1 atau 2 langkah saja.

Dengan *load shedding* tiga langkah, pelepasan beban pertama dilakukan saat frekuensi 98,83% dengan besar beban yang dilepas sebesar 10% dari beban total dan waktu *circuit breaker open* 0,12s. Jika sistem belum kembali stabil setelah dilakukan langkah pertama, maka diperlukan langkah kedua. *Load shedding* kedua dilakukan ketika frekuensi 98,16% dengan besar beban yang dilepas 15% dari beban total. Apabila langkah kedua belum dapat membuat sistem stabil sesuai standar, maka perlu dilakukan pelepasan beban langkah ketiga. *Load shedding* ketiga dilakukan saat frekuensi sistem 97,5% dengan besar beban yang dilepas menyesuaikan kekurangan suplai daya dari *load shedding* langkah kedua dan frekuensi tidak diizinkan turun hingga 97%.

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Urutan Pelaksanaan Penelitian

Urutan pelaksanaan penelitian dari langkah awal hingga akhir yang dilakukan penulis dalam menyusun tugas akhir ini ditunjukkan dalam diagram alir (*flow chart*) pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Diagram Alir (*Flow Chart*) Pelaksanaan Penelitian

#### 3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memperkuat teori penunjang dalam pengerjaan tugas akhir. Melalui studi literatur dipelajari dan dipahami teori serta konsep mengenai pelepasan beban (*load shedding*) yang berhubungan dengan permasalahan yang ada pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan mengumpulkan referensi seperti buku, *paper*, jurnal, dan artikel ilmiah yang mengandung informasi yang relevan dengan topik seperti proteksi sistem tenaga listrik, studi kestabilan transien, dan sistem pelepasan beban (*load shedding*).

#### 3.1.2 Pengumpulan Data

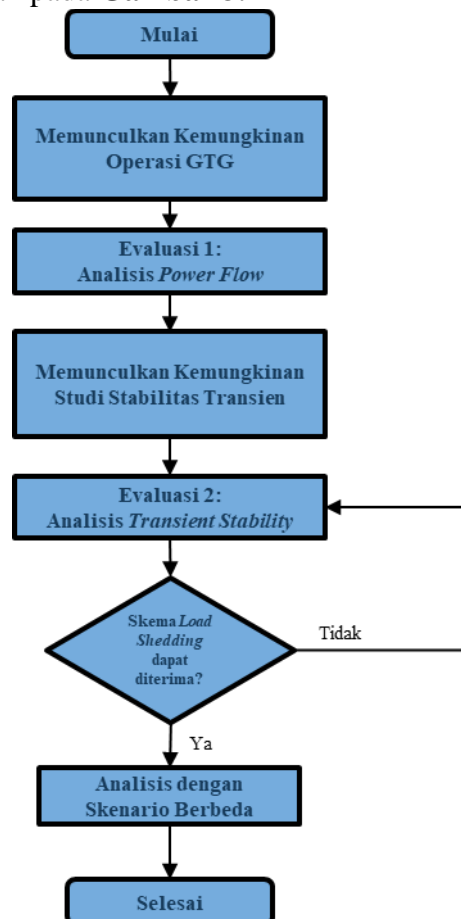
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penentuan model sistem yang sesuai. Pengumpulan data yang tepat dilakukan untuk menunjang keberhasilan simulasi dan keakuratan hasil tugas akhir. Beberapa data yang dikumpulkan berkaitan dengan generator dan pembebanan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang seperti *single line diagram*, spesifikasi generator (*governor* dan *exciter*), rating kabel, transformator, motor listrik, bus, serta pola operasinya.

### 3.1.3 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Setelah seluruh data telah terkumpul, maka akan dilanjutkan dengan memodelkan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang yang terintegrasi dengan pembangkitan dan pembebanan baru akibat adanya penambahan Pabrik Pusri III-B dalam bentuk *single line diagram* (SLD) dengan menggunakan *software* ETAP *Power Station*.

### 3.1.4 Studi Kasus Kestabilan Transien

Pada tahap ini merupakan langkah awal dilakukannya simulasi serta analisis yang berkaitan dengan kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban di PT. Pusri Palembang menggunakan *software* ETAP *Power Station*. Simulasi pertama adalah *power flow* yang bertujuan untuk mengetahui besar aliran daya dan besar tegangan pada bus di sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Selanjutnya akan dilakukan studi kasus kestabilan transien akibat *generator outage*, *short circuit*, dan *motor starting*. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan adalah respon dari frekuensi pada sistem, daya mekanik ( $P_m$ ) pada sistem, tegangan pada sistem, sudut rotor, dan waktu menuju kestabilan. Adapun diagram alir urutan pelaksanaan simulasi ditunjukkan pada **Gambar 3. 2**



**Gambar 3. 2** Diagram Alir (Flow Chart) Pelaksanaan Simulasi

### 3.1.5 Analisis Hasil Simulasi Studi Kasus Kestabilan Transien

Simulasi dan analisis kestabilan transien dilakukan untuk mengevaluasi kejadian yang dapat mengakibatkan sistem kehilangan kestabilan dengan mempertimbangkan kondisi frekuensi dan tegangan akibat *generator outage*. Hasil simulasi selanjutnya akan dianalisis yang apabila menunjukkan respon sistem yang tidak stabil maka akan ditinjau dan dilanjutkan dengan penentuan skema serta mekanisme *load shedding* yang tepat untuk diterapkan dalam sistem kelistrikan pabrik menggunakan metode *frequency-based*.

### 3.1.6 Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme Load Shedding

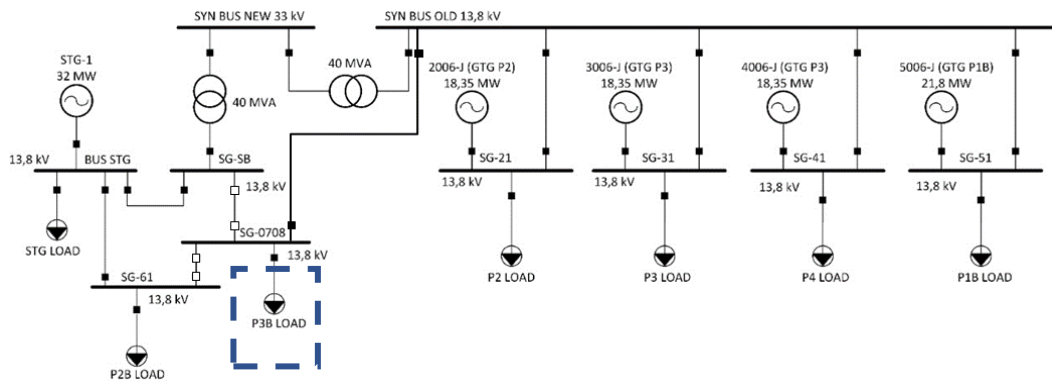
Selanjutnya dilakukan simulasi dan analisis kestabilan transien untuk tiap studi kasus yang telah ditentukan dengan melakukan mekanisme *load shedding* yang meliputi respon frekuensi dan tegangan dari masing-masing bus yang telah ditentukan sebelumnya serta sudut rotor generator yang terinterkoneksi ke sistem.

### 3.1.7 Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Jika seluruh tahapan 1 hingga 7 telah selesai, selanjutnya dilakukan penyusunan buku laporan tugas akhir serta dilakukan pula penarikan kesimpulan dan saran yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

## 3.2 Kondisi Eksisting Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Sebagai salah satu perusahaan pelopor produsen pupuk urea di Indonesia, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) memiliki sebuah sistem yang besar dengan sistem kelistrikan yang cukup kompleks. Seiring dengan pertumbuhan pasar yang semakin kuat, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) melakukan pengembangan jalur produksi melalui penambahan pabrik Pusri 3B. Penambahan beban baru pada sistem kelistrikan ini perlu memperhatikan keadaan dan kemampuan peralatan yang sudah ada agar tidak mengganggu kontinuitas dari proses produksi. Visualisasi sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat dilihat pada **Gambar 3. 3**.



**Gambar 3. 3** Single Line Diagram PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang Setelah Penambahan Pabrik P3B

Pada kondisi setelah diberi penambahan beban pabrik Pusri 3B, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki lima unit generator sebagai sumber utama dalam pembangkitan listrik guna menunjang proses produksinya. Adapun kelima penyuplai energi listrik tersebut terbagi atas 4 (empat) unit *Gas Turbine Generator* (GTG) dan 1 (satu) unit *Steam Turbine Generator* (GTG). Total daya operasi dari Pusri 3B diasumsikan sebesar  $\pm 23$  MW.

Pabrik 3B akan tersambung dengan distribusi eksisting melalui 2 pilihan yaitu Synbus 13.8 kV SG0607 atau SG4002. Dalam melaksanakan operasi dan produksi tenaga listrik, maka perlu dipersiapkan mitigasi terhadap kurangnya pasokan pembangkitan listrik (generator outage) akibat bertambahnya pabrik baru. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah melakukan pelepasan beban (*load shedding*) untuk memberikan keamanan dan mempertahankan kestabilan sistem apabila terjadi gangguan besar secara tiba-tiba pada sistem.

### 3.2.1 Pembangkitan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang Setelah Penambahan Pabrik Pusri III-B

#### 3.2.1.1 Kapasitas Pembangkitan Generator PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Saat ini, setelah dilakukan penambahan pabrik Pusri 3B, sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) tetap dipasok melalui 5 (lima) unit pembangkit. Rincian persebaran generator tersebut dapat diamati melalui **Tabel 3. 1**.

**Tabel 3. 1** Persebaran Generator pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

No	ID	Lokasi	Daya Mampu (MW)	Tegangan (kV)	Kapasitas		PF	RPM
					MVA	MW		
1	STG-1	STG	23	13.8	44.7	38	0.85	1500
2	2006-J	PUSRI 2	10	13.8	21.6	18.35	0.85	3000
3	3006-J	PUSRI 3	12	13.8	21.6	18.35	0.85	3000
4	4006-J	PUSRI 4	12	13.8	21.6	18.35	0.85	3000
5	5006-J	PUSRI 1B	14	13.8	25.65	21.8	0.85	3000

Saat ini terdapat lima generator sebagai suplai utama pembangkitan listrik PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang diantaranya adalah 1 pembangkit *Steam Turbine Generator* (STG) 44.70 MVA (38 MW, 0.85 PF) dan 4 pembangkit Generator Sinkron dengan kapasitas masing-masing sebesar P2 21.6 MVA (18.35 MW, 0.85 PF), P3 21.6 MVA (18.35 MW, 0.85 PF), P4 21.6 MVA (18.35 MW, 0.85 PF), dan P1B 25.65 MVA (21.8 MW, 0.85 PF) dengan tegangan terminal 13.8 kV. Pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, generator STG-1 beroperasi sebagai *PF control* generator, 5006-J menjadi *swing* generator, dan keempat generator lainnya beroperasi sebagai *voltage control*.

Dengan demikian, secara teoritis kapasitas maksimum suplai listrik yang tersedia mencapai 115 MW (setara dengan 135 MVA dengan 0.85 PF). Secara sederhana sistem operasi eksisting PT. Pupuk Sriwidjaja dapat ditinjau pada *single line diagram* (SLD) yang ditunjukkan pada **Gambar 3. 3** dimana pada pola operasi normal digunakan 5 buah pembangkit yakni 1 STG dan 4 pembangkit generator sinkron. Dengan demikian, maka total suplai listrik oleh kelima pembangkit tersebut ketika beroperasi secara normal adalah sebesar 67.62 MW. Sistem operasi pada pembangkit dilakukan dengan pembagian beban secara merata.

### 3.2.1.2 Setting Kontroler Generator

#### 3.2.1.2.1 Steam Turbine Generator (STG)

Pemodelan kontroler STG pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang pada ETAP menggunakan *steam turbine control* Woodward 505E

**Tabel 3. 2** Nilai yang Digunakan pada Simulasi untuk *Controller* Woodward 505E Generator STG

<i>Parameter</i>	<i>Definition</i>	<i>Input Value</i>	<i>Units</i>
Mode	Droop or Isoch	Droop	
Droop1	Steady-state speed droop	5	%
Droop2	Extraction loop droop	5	%
Efmax	Max. extraction flow	162	T/Hr
ExtFlow	Turbine extraction flow	1	%
ExtPress	Extraction pressure	1	%
Hpa	Min. extraction @ max. power	84	T/Hr
HPb	Max. extraction @ min. power	172	T/Hr
HPc	Min. extraction @ min. power	30	T/Hr
Hpmax	Max. HP flow	172	T/Hr
I1 <D>	Speed loop integral (Droop mode)	6	%
I1 <I>	Speed loop integral gain in (Isoch mode)	6	%
I2	Extraction loop integral gain	6	%
L1	Up limit for speed loop output	100	%
L2	Low limit for speed loop output	-30	%
L3	Up limit for extraction loop output	100	%
L4	Low limit for extraction loop output	0	%
P1 <D>	Speed loop proportional gain (Droop mode)	3	%
P1 <I>	Speed loop proportional gain (Isoch mode)	3	%
P2	Extraction loop proportional gain	3	%
RampRate	Speed reference ramp rate	0.03	%/Sec.
Sa	Max. power @ min. extraction	24865	kW.
Sb	Min. power @ max. extraction	9600	kW
Sc	Min. power @ min. extraction	-400	kW
SDR1	Speed loop parameter (Droop mode)	5	%
SDR1 <I>	Speed loop parameter (Isoch mode)	5	%
SDR2	Extraction loop parameter	5	%
Smax	Max. power	23000	kW



<i>Parameter</i>	<i>Definition</i>	<i>Input Value</i>	<i>Units</i>
Ta1	HP valve actuator time constant	1	Sec.
Ta2	LV valve actuator time constant	1	Sec.
Tm1	Turbine time constant (shaft power output)	1	Sec.
Tm2	Turbine time constant (extraction flow)	1	Sec.
TS	Controller sample time	0.015	Sec.

### 3.2.1.3 Gas Turbine Generator (GTG)

Generator P2, P3, P4, dan P1B menggunakan *Gas Turbine* (GTS). Beberapa nilai yang digunakan dalam pemodelan kontroler GTS dapat diuraikan melalui **Tabel 3. 3**, **Tabel 3. 4**, dan **Tabel 3. 5**.

**Tabel 3. 3** Nilai yang digunakan pada simulasi untuk controller Gas Turbine Generator P2

<i>Parameter</i>	<i>Definition</i>	<i>Input Value</i>	<i>Units</i>
Mode	Droop or Isoch	Droop	
Droop	Steady-state speed droop	4	%
Max	Fuel upper limit	0.545	p.u.
Min	Fuel lower limit	0.15	p.u.
X	Governor transfer function coefficient	0	p.u.
Y	Governor transfer function coefficient	0.05	p.u.
Z	Governor transfer function coefficient	1	p.u.
A	Fuel system transfer function coefficient	1	p.u.
B	Fuel system transfer function coefficient	0.05	p.u.
C	Fuel system transfer function coefficient	0.4	p.u.
D	Fuel system transfer function coefficient	0.05	p.u.
R	Fast load pickup operating zone limit	0.6	p.u.
S	Fast load pickup operating zone limit	0.6	p.u.
T	Fast load pickup operating zone limit	0.4	p.u.

**Tabel 3. 4** Nilai yang digunakan pada simulasi untuk controller Gas Turbine Generator P3 dan P4

<i>Parameter</i>	<i>Definition</i>	<i>Input Value</i>	<i>Units</i>
Mode	Droop or Isoch	Droop	
Droop	Steady-state speed droop	4	%
Max	Fuel upper limit	0.654	p.u.
Min	Fuel lower limit	0.15	p.u.
X	Governor transfer function coefficient	0	p.u.
Y	Governor transfer function coefficient	0.05	p.u.
Z	Governor transfer function coefficient	1	p.u.
A	Fuel system transfer function coefficient	1	p.u.
B	Fuel system transfer function coefficient	0.05	p.u.

<i>Parameter</i>	<i>Definition</i>	<i>Input Value</i>	<i>Units</i>
C	Fuel system transfer function coefficient	0.4	p.u.
D	Fuel system transfer function coefficient	0.05	p.u.
R	Fast load pickup operating zone limit	0.6	p.u.
S	Fast load pickup operating zone limit	0.6	p.u.
T	Fast load pickup operating zone limit	0.4	p.u.

**Tabel 3. 5** Nilai yang digunakan pada simulasi untuk controller Gas Turbine Generator P1B

<i>Parameter</i>	<i>Definition</i>	<i>Input Value</i>	<i>Units</i>
Mode	Droop or Isoch	Droop	
Droop	Steady-state speed droop	4	%
Max	Fuel upper limit	0.642	p.u.
Min	Fuel lower limit	0.15	p.u.
X	Governor transfer function coefficient	0	p.u.
Y	Governor transfer function coefficient	0.05	p.u.
Z	Governor transfer function coefficient	1	p.u.
A	Fuel system transfer function coefficient	1	p.u.
B	Fuel system transfer function coefficient	0.05	p.u.
C	Fuel system transfer function coefficient	0.4	p.u.
D	Fuel system transfer function coefficient	0.05	p.u.
R	Fast load pickup operating zone limit	0.6	p.u.
S	Fast load pickup operating zone limit	0.6	p.u.
T	Fast load pickup operating zone limit	0.4	p.u.

### 3.2.2 Sistem Distribusi di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menggunakan sistem distribusi kelistrikan dengan pola operasi radial dengan 2 (dua) *synchronous bus* yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan kelistrikan lama dengan jaringan kelistrikan yang baru.

Secara umum, total daya beban listrik pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) sekitar 67.62 MW. Energi listrik ini disalurkan melalui sistem distribusi utama 13.8 kV dengan pola operasi radial. Sistem distribusi primer tersebut diteruskan melalui jaringan distribusi sekunder menggunakan *switchgear* 2.4 kV, 0.48 kV, dan 0.4 kV. Level tegangan pada sistem distribusi kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat dituliskan pada **Tabel 3. 6** berikut.

**Tabel 3. 6** Data Bus pada Sistem Kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

No	Lokasi	ID Bus	Tegangan Bus
1	Synchronous	Syn Bus New (SG-3301)	33 kV
2		Syn Bus Old (SG-4002)	13.8 kV
3	PUSRI 2	SG-21	13.8 kV
4	PUSRI 3	SG-31	13.8 kV

No	Lokasi	ID Bus	Tegangan Bus
5	PUSRI 4	SG-41	13.8 kV
6	PUSRI 1B	SG-51	13.8 kV
7	PUSRI 2B	SGSB/SG0607	13.8 kV
		SG-71	13.8 kV
		SG-61	13.8 kV
8	PUSRI 3B	SG-0708	13.8 kV

### 3.2.3 Pembebanan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Beban PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang terbagi atas enam *powerplant*, yakni: Pusri 1B, Pusri 2, Pusri 2B, Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 3B. *Plant* PIII-B memiliki beban  $\pm 23$  MW dengan jenis pembebanan yang penulis cantumkan pada lampiran.

## 3.3 Metode Pengerjaan

### 3.3.1 Skema *Load Shedding* Eksisting PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Saat ini PT. Pupuk Sriwidjaja telah memiliki skema *load shedding* eksisting dengan metode status setelah adanya penambahan Pabrik Pusri Plant PIII-B. Detail lokasi beban yang dilepaskan menggunakan pada skema *load shedding* eksisting penulis cantumkan pada lampiran. Skema *load shedding* eksisting yang telah ada sebelumnya akan dievaluasi dengan metode yang sama agar didapatkan kuantum pelepasan beban yang nilainya lebih kecil yang dapat menjadi rekomendasi usulan mekanisme pelepasan beban di PT. Pupuk Sriwidjaja. Selanjutnya beberapa pola operasi tertentu dipilih untuk diuji coba menggunakan *load shedding* metode frekuensi tiga langkah agar didapat perbandingan kedua metode pelepasan beban yang dapat menjadi acuan PT. Pupuk Sriwidjaja dalam menentukan kelayakan metode yang akan digunakan dalam menentukan mekanisme *load shedding* sistem kelistrikannya.

### 3.3.2 Pola Operasi Generator

Dalam sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja terdapat enam kemungkinan pola operasi yang dapat dijalankan, antara lain kondisi normal semua generator beroperasi, generator P2 tidak beroperasi, generator P3 tidak beroperasi, generator P4 tidak beroperasi, generator P1B tidak beroperasi, dan generator STG tidak beroperasi. Mengingat P3 dan P4 memiliki daya mampu serta karakteristik performa yang identik, maka performa generator saat mengalami gangguan dapat diwakilkan melalui salah satu pola operasi baik itu P3 atau P4 yang tidak beroperasi. Pelepasan beban di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dipicu (*trigger*) melalui beberapa kondisi yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pola operasi normal dengan 5 generator aktif
2. Pola operasi 4 generator aktif

Data diuraikan dalam bentuk daya aktif dalam menggambarkan pola operasi pembangkitan dan beban pada masing-masing skenario seperti yang tertera pada **Tabel 3. 7**

**Tabel 3. 7** Pembangkitan Generator pada Tiap Skenario

Pola Operasi	STG (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P1B (MW)	Total Daya (MW)
Normal	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62
P2 <i>Off</i>	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30
P3 <i>Off</i>	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70
P1B <i>Off</i>	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.80
STG <i>Off</i>	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46
Keterangan:						
		Generator Tidak Beroperasi ( <i>Off</i> )				

Selanjutnya, dilakukan pertimbangan mengenai kemungkinan terburuk akibat kegagalan operasi pada dua generator sekaligus. Namun, apabila sistem beroperasi dengan 4 generator dan terjadi dua *generator failure* maka dapat dipastikan bahwa sistem akan *blackout*. Kemungkinan pola operasi *initial condition* yang dilakukan pada studi dapat dilihat melalui tabel dibawah ini.

**Tabel 3. 8** Kemungkinan *Initial Condition*

TS Case	STG	P2	P3	P4	P1B	Actual Power (MW)	TS Event
Normal	1	1	1	1	1	67.62	1 Generator Failure, dan 2 Generator Failure
P2 <i>Off</i>	1	0	1	1	1	60.30	1 Generator Failure
P3 <i>Off</i>	1	1	0	1	1	58.70	1 Generator Failure
P1B <i>Off</i>	1	1	1	1	0	56.80	1 Generator Failure
STG <i>Off</i>	0	1	1	1	1	47.46	1 Generator Failure
Catatan:							
1: Generator ON							
0: Generator OFF							

Dari **Tabel 3. 8**, masing-masing TS Case menunjukkan kondisi inisial generator beroperasi. Pada masing-masing pola operasi tersebut terdapat kemungkinan terjadinya *failure generator* sehingga kemungkinan-kemungkinan kejadian tersebut dapat dirangkum pada tabel dibawah ini.

**Tabel 3. 9** Kemungkinan Skema Generator Trip Masing-Masing Pola Operasi

Kemungkinan Skema Generator Trip					
No.	STG	P2	P3	P4	P1B
1	1	Trip	1	1	1
2	1	1	Trip	1	1
3	1	1	1	1	Trip
4	Trip	1	1	1	1
5	1	Trip	Trip	1	1

Kemungkinan Skema Generator Trip					
No.	STG	P2	P3	P4	P1B
6	1	Trip	1	1	Trip
7	Trip	Trip	1	1	1
8	1	1	Trip	Trip	1
9	1	1	Trip	1	Trip
10	Trip	1	Trip	1	1
11	1	0	Trip	1	1
12	1	0	1	1	Trip
13	Trip	0	1	1	1
14	1	Trip	0	1	1
15	1	1	0	Trip	1
16	1	1	0	1	Trip
17	Trip	1	0	1	1
18	1	Trip	1	1	0
19	1	1	1	Trip	0
20	Trip	1	1	1	0
21	0	Trip	1	1	1
22	0	1	1	Trip	1
23	0	1	1	1	Trip
Catatan:					
Trip		Generator Trip			
0		Generator Tidak Beroperasi			

### 3.3.3 Evaluasi dan Analisis Kestabilan Transien

Studi menyeluruh menyangkut analisis kestabilan transien akan dilakukan yang digunakan sebagai langkah antisipasi apabila sistem mengalami gangguan. Analisis kestabilan transien dilakukan untuk mengamati respon sistem kelistrikan sebagai akibat dari peristiwa yang bersifat dinamis seperti adanya *accidental tripping* pada generator. Analisis akan dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6 dengan parameter model mesin generator dan sistem sesuai data yang telah diterima dari PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Hasil yang didapatkan diharapkan mampu menjawab kebutuhan penentuan skema *load shedding* yang dibutuhkan dan kemampuan sistem untuk pulih dalam menjaga beban-beban kritis agar tetap aman akibat hilangnya pembangkitan secara tiba-tiba dari satu generator atau lebih pada sistem.

### 3.3.4 Penentuan Skema Load Shedding

Langkah antisipasi dalam menjaga kontinuitas operasi sistem akibat terjadinya gangguan kestabilan transien adalah dengan cara melakukan pelepasan beban. Dalam melakukan mekanisme *load shedding* digunakan standar frekuensi dan standar pelepasan beban IEEE Std. C37.102-2006 dan IEEE.Std.C37.106-1987 seperti yang telah tercantum pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2**

### 3.3.4.1 Standar Frekuensi

Standar yang digunakan dalam menentukan operasi frekuensi yang diizinkan merujuk pada IEEE Std. C37.102-2006 yang berada pada **Tabel 2. 1**. Standar tersebut menggunakan basis frekuensi 60 Hz sehingga dibutuhkan penyesuaian dalam mengubahnya kedalam frekuensi 50 Hz yang dapat dilihat pada **Tabel 3. 10** mengingat sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan frekuensi 50 Hz.

**Tabel 3. 10** Standar Operasi Frekuensi Basis 50 Hz Berdasarkan IEEE Std. C37.102-2006

Remarks	Frequency Range (50 Hz)	Time (Up to)	Keterangan
Prohibited operation	>51.5	Prohibited	Over frequency
Restrictive operation	50.42 – 51.5	10 min	
Continuous operation	49.58 – 50.42	Continuous	Normal
Restrictive operation	48.75 – 49.58	50 min	Underfrequency
Restrictive operation	48.17 – 48.75	10 min	
Restrictive operation	47.67 – 48.17	3 min	
Prohibited operation	<47.67	Prohibited	

Berdasarkan Tabel 8, terdapat tiga daerah operasi untuk masing-masing generator, yaitu:

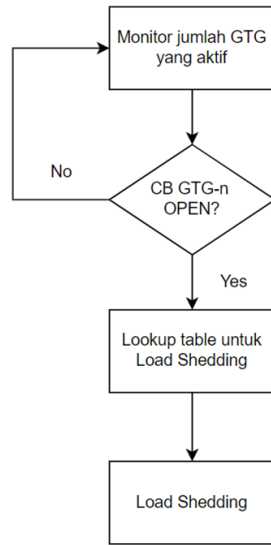
1. *Restricted time operating frequency limits*, merupakan daerah frekuensi yang masih diizinkan namun hanya bersifat sementara (tergantung besar frekuensi dan waktu). Semakin besar penurunan frekuensinya, maka semakin pendek waktu yang diizinkan frekuensi pada kondisi tersebut.
2. *Prohibited operation* merupakan daerah frekuensi terlarang, sehingga frekuensi tidak diizinkan mencapai daerah tersebut.
3. *Continuous operation* merupakan daerah frekuensi normal.

### 3.3.4.2 Standar Pelepasan Beban (Load Shedding)

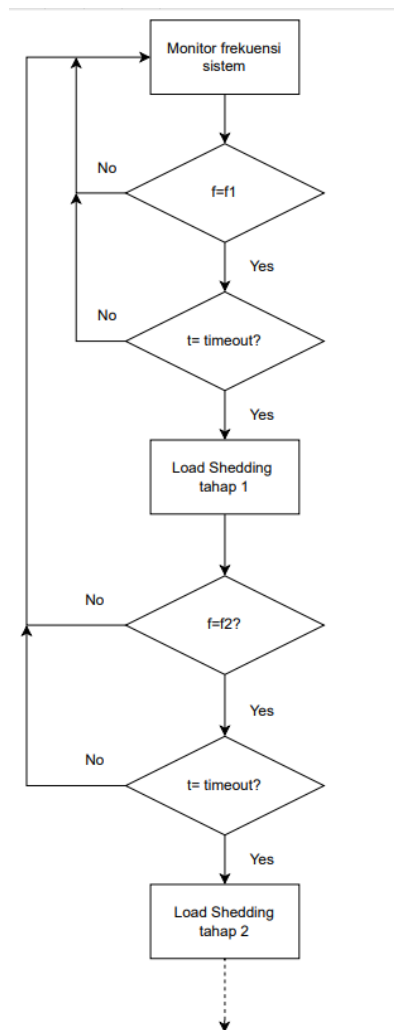
Skema *load shedding* dilakukan untuk mengamankan kestabilan sistem dengan parameter frekuensi. Dengan demikian terdapat beberapa fungsi *trigger load shedding* yang digunakan pada tugas akhir ini.

1. *Load shedding* dengan *trigger* status circuit breaker (CB) GTG dan *output lookup table (digital input)*
2. *Load shedding* dengan *trigger* frekuensi

Adapun masing-masing diagram alir pada fungsi tersebut diuraikan secara rinci melalui gambar dibawah ini.



**Gambar 3.4** *Load Shedding* dengan *Trigger* Status Circuit Breaker



**Gambar 3.5** *Load Shedding* dengan *Trigger* Frekuensi

Diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 3. 4** adalah skema *load shedding* dengan *trigger* status *circuit breaker* GTG yang aktif. Pemilihan *trigger* berupa status CB GTG diharapkan mampu memotong durasi *load shedding* sehingga menghindari sistem dari penurunan frekuensi secara besar. Besaran *load shedding* ditentukan berdasarkan *lookup table* yang telah dipersiapkan sebelumnya.

Sedangkan diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 3. 5** merupakan frekuensi yang menjadi fungsi utama dalam menentukan besaran pelepasan beban. Terdapat beberapa *trigger* frekuensi dengan tahapan sejumlah  $n$ , juga dapat disebut sebagai  $f_n$ . Dengan demikian, maka  $f_1 < f_2 < \dots < f_n$ , atau dengan kata lain frekuensi LS tahap 1 ( $f_1$ ) lebih rendah dari frekuensi LS tahap 2 ( $f_2$ ), dan begitu seterusnya hingga tahap akhir. Tiap tahapan frekuensi diikuti dengan beban yang harus dilepas.

### 3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

#### 3.4.1 Software ETAP Power Station Versi 12.6



**Gambar 3. 6** Software ETAP Power Station 12.6

Pada tugas akhir ini digunakan aplikasi bantu berupa *software* ETAP Power Station (*Electrical Transient Analysis Program*) versi 12.6. ETAP merupakan sebuah perangkat lunak (*software*) yang dapat melakukan pemodelan, menguji, mensimulasikan dan menganalisis sebuah sistem kelistrikan secara rinci mulai dari *power* hingga *network*. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk sistem tenaga listrik dan *online* untuk pengelolaan data *real-time* seperti SCADA. Fitur yang ditawarkan dalam ETAP sangat beragam. Salah satunya adalah melakukan analisis sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik. ETAP Power Station dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk OLD (*One Line Diagram*) dan jalur sistem *grounding* (pentanahan) dan melakukan berbagai bentuk analisis. Beberapa diantaranya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow analysis*), analisis hubung singkat (*short circuit analysis*), analisis kestabilan transien (*transient stability analysis*), analisis harmonisa (*harmonic analysis*), koordinasi relay proteksi, dsb. Kelebihan perangkat lunak ini tidak hanya dapat melakukan simulasi untuk sistem kelistrikan normal, tetapi pengguna juga dapat menambahkan studi kasus yang berkaitan dengan penelitian layaknya *generator outage*, gangguan hubung singkat pada suatu bus tertentu, *motor starting*, atau berbagai macam gangguan lainnya.



*Software* ETAP dirancang dengan tiga konsep utama yakni *virtual reality operation*, *total integration data*, dan *simplicity in data entry*. ETAP Power Station versi 12.6 menyediakan beragam opsi standar baku yang umumnya digunakan pada suatu sistem kelistrikan seperti standar ANSI atau IEC untuk *plant*, frekuensi, maupun bermacam-macam jenis elemennya seperti elemen AC, *instrument*, dan elemen DC.

### 3.4.2 *Software* Microsoft Excel



**Gambar 3. 7** *Software* Microsoft Excel

Perangkat lunak Microsoft Excel adalah sebuah program aplikasi lembar kerja *spreadsheet* yang dibuat dan didistribusikan oleh Microsoft Corporation untuk sistem operasi Microsoft Windows dan Mac OS. Software ini dikenal juga sebagai Microsoft Office Excel, MS. Oleh sebab itu syarat utama untuk bisa menggunakan program aplikasi excel ini, komputer yang digunakan harus sudah terinstal sistem operasi (*operating system*) Windows atau Mac terlebih dahulu. Microsoft Office digunakan untuk mempermudah perhitungan matematis dan mengolah data analisis dari hasil simulasi.

## **BAB 4 HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN SISTEM KELISTRIKAN PT. PUSRI PALEMBANG**

### **4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan**

Dalam memodelkan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dilakukan dengan cara menggambar *single line diagram* (SLD) menggunakan *software* ETAP *Power Station* 12.6. Pemodelan simulasi sistem kelistrikan ini dilakukan dengan menyesuaikan data peralatan yang ada pada sistem tersebut. Langkah selanjutnya adalah menyimulasikan dan menganalisis kestabilan transien dengan beberapa studi kasus yang telah direncanakan dengan memunculkan kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan industri.

Dalam tugas akhir ini analisis kestabilan transien dilakukan ketika sistem mengalami pelepasan generator atau *generator outage*. Berbagai gangguan yang disimulasikan diharapkan dapat memunculkan sebuah tindak lanjut agar sistem berada dalam kondisi stabil untuk beroperasi.

### **4.2 Studi Kasus Kestabilan Transien**

Pengujian sistem kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang terhadap gangguan besar setelah adanya penambahan pabrik Pusri III-B perlu dilakukan agar dapat mengetahui bagaimana respon sistem terhadap berbagai kemungkinan gangguan yang terjadi. Untuk itu, pada simulasi sistem kelistrikan dan analisis kestabilan transien serta mekanisme pelepasan beban (*load shedding*), dipilih jenis gangguan berupa *outage generator* (generator lepas). Studi kasus akibat *generator outage* (pelepasan generator) yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dijabarkan dengan lebih rinci sebagai berikut:

Pada studi kasus ini terdapat generator yang tiba-tiba terlepas dari sistem saat sedang terinterkoneksi. Terdapat empat skenario dengan lima jenis pola operasi dimana masing-masing skenario akan digunakan sebagai perbandingan satu sama lain dalam merencanakan skema pelepasan beban (*load shedding*). Khusus untuk Skenario D, simulasi *generator outage* hanya menggunakan dua dari lima jenis pola operasi yang ada.

- **Skenario A**  
Skenario A menggambarkan *accidental tripping* pada generator tanpa diikuti oleh skema *load shedding* (pelepasan beban) apapun dengan mengasumsikan *load shedding failed*. Hal tersebut dapat dikatakan sebagai respon terburuk yang mungkin dapat terjadi pada sistem.
- **Skenario B**  
Skenario B menjalankan skema *load shedding* metode status eksisting untuk mengantisipasi *accidental tripping*.
- **Skenario C**

Skenario C berupa skema *load shedding* metode status dengan rekomendasi yang bertujuan mengurangi total daya pada *load shedding* eksisting metode status yang telah ada sebelumnya.

- **Skenario D**

Pada skenario D, skema *load shedding* metode frekuensi dengan rekomendasi sebagai pembanding skema *load shedding* metode status.

Seluruh skenario dan skema kejadian stabilitas transien akibat *generator outage* dapat dirangkum melalui **Tabel 4. 1**, **Tabel 4. 2**, **Tabel 4. 3**, **Tabel 4. 4**, dan **Tabel 4. 5**.

**Tabel 4. 1** Skenario Simulasi Pelepasan Beban (*Load Shedding*) akibat *Outage Generator*

Skenario	Keterangan
Skenario A	Tanpa <i>Load Shedding</i>
Skenario B	Skema <i>Load Shedding Eksisting (Status)</i>
Skenario C	Skema <i>Load Shedding Rekomendasi (Status)</i>
Skenario D	Skema <i>Load Shedding Rekomendasi (Frekuensi)</i>

**Tabel 4. 2** Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (*Load Shedding*) akibat *Outage Generator* pada Skenario A

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
1	Normal	P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 <i>outage</i> dari sistem
2		P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 <i>outage</i> dari sistem
3		P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P1B <i>outage</i> dari sistem
4		STG Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG <i>outage</i> dari sistem
5		P2 & P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 & P3 <i>outage</i> dari sistem
6		P2 & P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 & P1B <i>outage</i> dari sistem
7		STG & P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG & P2 <i>outage</i> dari sistem
8		P3 & P4 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 & P4 <i>outage</i> dari sistem

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
9		P3 & P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 & P1B <i>outage</i> dari sistem
10		STG & P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG & P3 <i>outage</i> dari sistem
11	Generator P2 <i>Off</i>	P3 Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P3 <i>outage</i> dari sistem
12		P1B Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem
13		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem
14	Generator P3 <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem
15		P4 Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem
16		P1B Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem
17		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem
18	Generator P1B <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem
19		P4 Trip	Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem
20		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem
21	Generator STG <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem
22		P4 Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem
23		P1B Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem

**Tabel 4. 3** Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (*Load Shedding*) akibat *Outage Generator* pada Skenario B

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
1	Normal	P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 <i>outage</i>

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
			dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
2		P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
3		P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
4		STG Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
5		P2 & P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 & P3 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
6		P2 & P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 & P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
7		STG & P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG & P2 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
8		P3 & P4 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 & P4 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
9		P3 & P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 & P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
10		STG & P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG & P3 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
11	Generator P2 Off	P3 Trip	Pembangkitan awal GTG P2 Off dilanjutkan dengan Generator P3 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
12		P1B Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
13		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
14	Generator P3 <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
15		P4 Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
16		P1B Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
17		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
18		Generator P1B <i>Off</i>	P2 Trip
19	P4 Trip		Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
20	STG Trip		Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
21	Generator STG <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
22		P4 Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem dan disusul

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
			dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status
23		P1B Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> eksisting metode status

**Tabel 4. 4** Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (*Load Shedding*) akibat *Outage Generator* pada Skenario C

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
1	Normal	P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
2		P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
3		P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P1B <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
4		STG Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
5		P2 & P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 & P3 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
6		P2 & P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 & P1B <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
7		STG & P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG & P2 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
8		P3 & P4 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 & P4 <i>outage</i> dari sistem disusul

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
			dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
9		P3 & P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 & P1B <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
10		STG & P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG & P3 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
11		P3 Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P3 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
12	Generator P2 <i>Off</i>	P1B Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
13		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
14		P2 Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
15	Generator P3 <i>Off</i>	P4 Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
16		P1B Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
17		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P3 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem disusul



Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
			dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
18	Generator P1B <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
19		P4 Trip	Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
20		STG Trip	Pembangkitan awal GTG P1B <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator STG <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
21	Generator STG <i>Off</i>	P2 Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P2 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
22		P4 Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P4 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status
23		P1B Trip	Pembangkitan awal STG <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P1B <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode status

**Tabel 4. 5** Daftar Kasus Simulasi Pelepasan Beban (*Load Shedding*) akibat *Outage Generator* pada Skenario D

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
1	Normal	P2 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P2 <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode frekuensi
2		P3 Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P3 <i>outage</i> dari sistem dan dengan

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Keterangan
			mekanisme <i>load shedding</i> rekomenadsi metode frekuensi
3		P1B Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan P1B <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomenadsi metode frekuensi
4		STG Trip	Pembangkitan awal normal dilanjutkan dengan STG <i>outage</i> dari sistem dan disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomenadsi metode frekuensi
5	Generator P2 <i>Off</i>	P3 Trip	Pembangkitan awal GTG P2 <i>Off</i> dilanjutkan dengan Generator P3 <i>outage</i> dari sistem disusul dengan mekanisme <i>load shedding</i> rekomendasi metode frekuensi

Pada kasus gangguan generator *outage*, Syn Bus SG-4002 sebagai *synchronous* bus dengan level tegangan 13,8 kV dipilih menjadi parameter kestabilan transien sistem. Hasil yang didapat dari simulasi selanjutnya akan dijadikan acuan sejauh mana pengaruh akibat gangguan yang ditimbulkan terhadap keandalan dan kestabilan sistem. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan pada simulasi kestabilan transien meliputi fluktuasi frekuensi, tegangan, mencukupi atau tidaknya kemampuan daya elektrik dan mekanik generator, serta sudut rotor generator yang akan kembali ke kondisi normalnya setelah mengalami ayunan (osilasi) atau akan berayun (berosilasi) secara terus menerus.

Sistem dikatakan kritis bila total pembangkitan sedikit lebih atau kurang dari total *demand*. Namun, meninjau kestabilan sistem tidak hanya cukup dengan mengamati persamaan daya pada sisi pembangkitan dan beban saja sehingga perlu memperhatikan frekuensi, tegangan, dan sudut rotornya. Tahap selanjutnya ialah melakukan standar pengoperasian pembebanan agar pengaruh gangguan yang diberikan tidak akan menyebabkan *blackout* pada sistem kelistrikan.

### 4.3 Hasil Simulasi Kestabilan Transien

Dalam sub-bab berikut dijabarkan dan dijelaskan analisis hasil dari simulasi kestabilan transien untuk setiap studi kasus gangguan yang telah ditetapkan. Hasil simulasi stabilitas transien menghasilkan beberapa respon dari parameter vital yang akan diamati untuk dilakukan evaluasi dan analisis secara komprehensif dalam menilai kestabilan suatu sistem yang meliputi respon frekuensi, tegangan dari bus yang telah ditentukan, serta sudut rotor generator yang terinterkoneksi dengan sistem kelistrikan guna memperoleh mitigasi terbaik dalam menghadapi gangguan besar yang mungkin akan dialami oleh sistem. Respon akibat gangguan tersebut selanjutnya akan dijadikan dasar penyusunan skema *load shedding* yang optimal pada sistem.

Keseluruhan grafik uji coba pada seluruh pola operasi generator dengan masing-masing skenario uji dirangkum pada **Tabel 4. 6**, **Tabel 4. 8**, **Tabel 4. 10**, dan **Tabel 4. 12** yang menunjukkan besaran pelepasan beban yang dibutuhkan untuk menjaga sistem kelistrikan mempertahankan kestabilannya.

### 4.3.1 Simulasi Kestabilan Transien *Generator Outage* Tanpa Mekanisme *Load Shedding* (Skenario A)

Pada sub bab 4.3.1 dilakukan simulasi kestabilan transien dengan menjalankan studi kasus generator *outage* Skenario A yang menggambarkan *accidental tripping* pada generator tanpa diikuti oleh skema *load shedding* (pelepasan beban). Generator disimulasikan mengalami *outage* atau *accidental tripping* saat 0.625 detik dengan total waktu simulasi selama 30 detik.

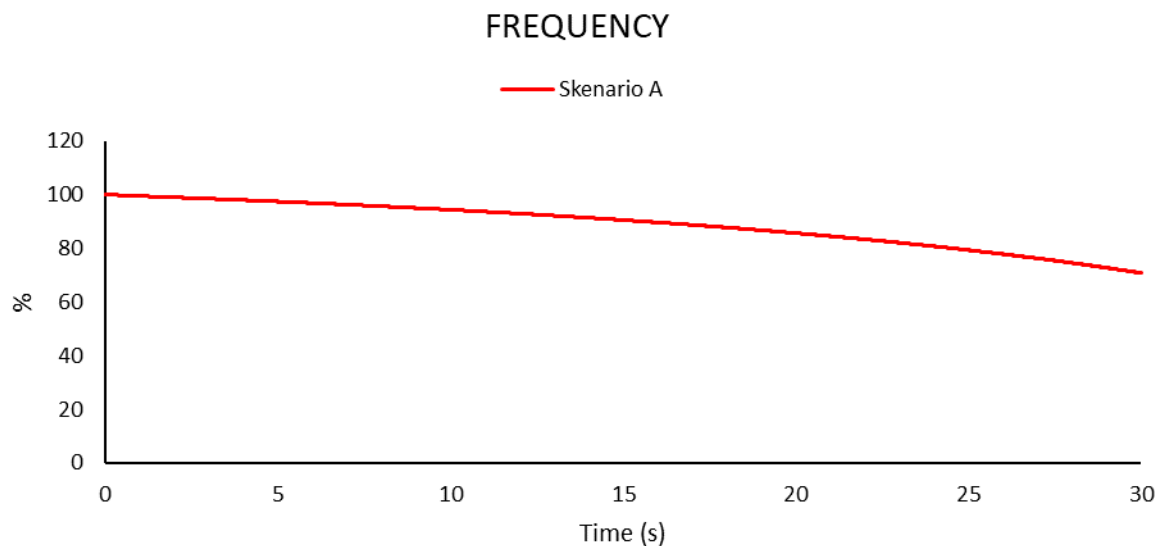
**Tabel 4. 6** Hasil Simulasi Kestabilan Transien Tanpa Mekanisme Load Shedding (Skenario A)

Skema	Operating Gen		Gen Failure		Load Shedding (MW)	Estimated time to stable (s)	System Total Load (MW)		Lowest Frequency Drop (%)	Steady State (%)
	Before	After	Gen ID	Power Loss (MW)			Before	After		
1	5	4	P2	9.10	0.0	Collapse	67.62	Collapse	70.828	-
2	5	4	P3	10.90	0.0	Collapse	67.62	Collapse	71.417	-
3	5	4	P1B	13.70	0.0	Collapse	67.62	Collapse	32.958	-
4	5	4	STG	23.00	0.0	Collapse	67.62	Collapse	0.000	-
5	5	3	P2 + P3	20.01	0.0	Collapse	67.62	Collapse	35.572	-
6	5	3	P2 + P1B	22.80	0.0	Collapse	67.62	Collapse	25.460	-
7	5	3	STG + P2	32.10	0.0	Collapse	67.62	Collapse	0.000	-
8	5	3	P3 + P4	21.82	0.0	Collapse	67.62	Collapse	34.859	-
9	5	3	P3 + P1B	24.61	0.0	Collapse	67.62	Collapse	66.426	-
10	5	3	STG + P3	33.91	0.0	Collapse	67.62	Collapse	36.419	-
11	4	3	P3	11.95	0.0	Collapse	60.30	Collapse	34.770	-
12	4	3	P1B	13.40	0.0	Collapse	60.30	Collapse	25.383	-
13	4	3	STG	23.00	0.0	Collapse	60.30	Collapse	0.000	-
14	4	3	P2	9.95	0.0	Collapse	58.70	Collapse	44.035	-
15	4	3	P4	11.95	0.0	Collapse	58.70	Collapse	33.888	-
16	4	3	P1B	13.80	0.0	Collapse	58.70	Collapse	60.895	-
17	4	3	STG	23.00	0.0	Collapse	58.70	Collapse	31.438	-
18	4	3	P2	9.95	0.0	Collapse	56.48	Collapse	25.397	-
19	4	3	P4	11.58	0.0	Collapse	56.48	Collapse	25.035	-
20	4	3	STG	23.00	0.0	Collapse	56.48	Collapse	0.000	-
21	4	3	P2	9.95	0.0	Collapse	47.46	Collapse	0.000	-
22	4	3	P4	11.95	0.0	Collapse	47.46	Collapse	0.000	-
23	4	3	P1B	13.61	0.0	Collapse	47.46	Collapse	0.000	-

Dintinjau dari **Tabel 4. 6** pada skenario A yaitu ketika sistem mengalami *accidental tripping* pada generator tanpa diikuti mekanisme *load shedding*, sistem akan mengalami *collapse* dimana frekuensi pada seluruh skema yang dijalankan, sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang beroperasi pada batas yang tidak diizinkan. Drop frekuensi terendah mencapai hingga 0% sebelum waktu simulasi selesai seperti pada skema 4 dengan pola operasi normal 5 generator *on* yang disusul dengan STG mengalami *outage* dari sistem.

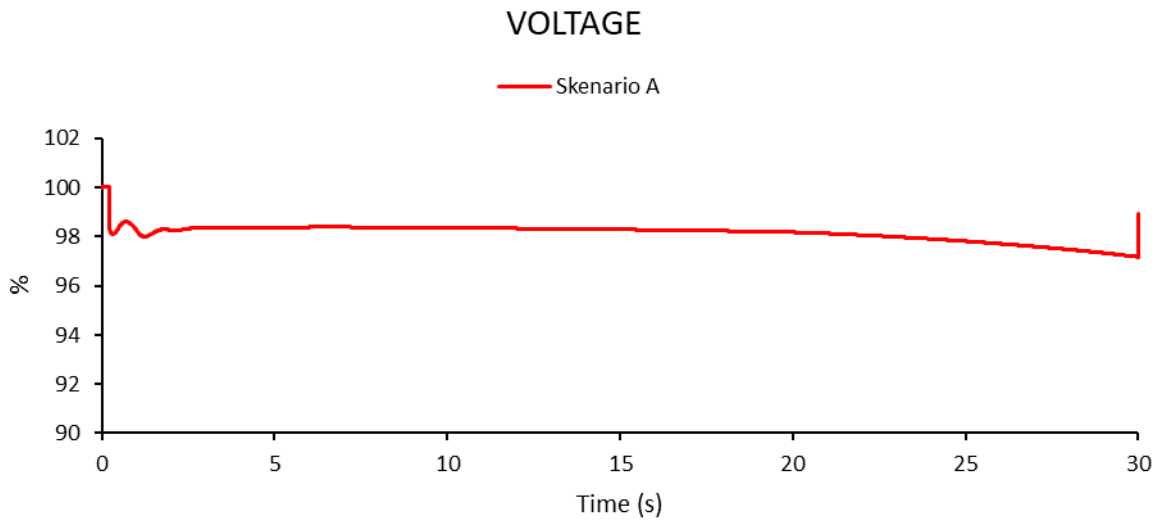
#### 4.3.1.1 Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)

Dalam studi kasus ini ditunjukkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien dengan pola operasi pembangkitan normal kelima generator menyala yang disusul dengan generator P2 2006-J *outage* dari sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Generator disimulasikan mengalami *outage* atau *accidental tripping* saat 0.625 detik dengan total waktu simulasi selama 30 detik.



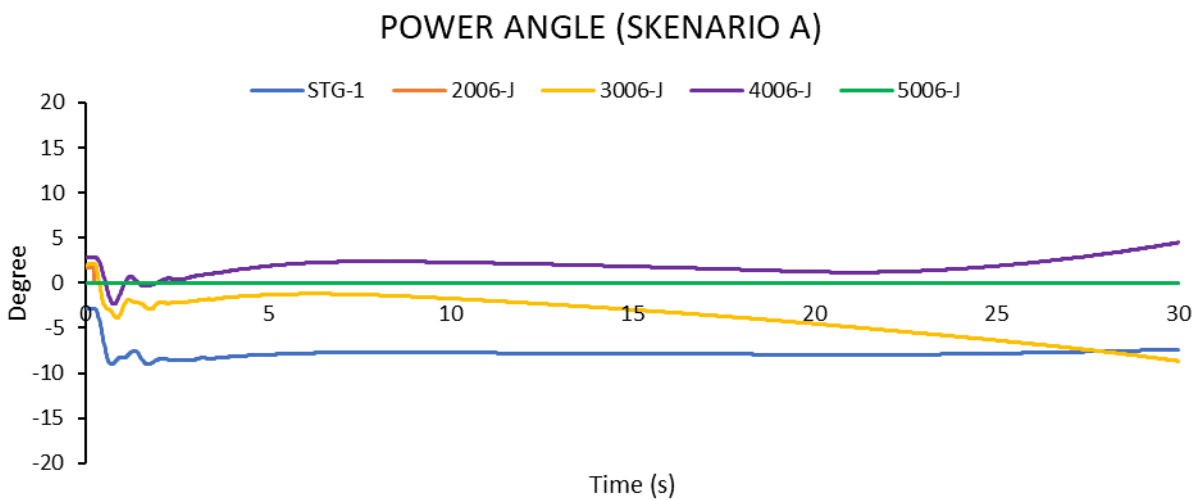
**Gambar 4. 1** Respon Frekuensi saat Generator 2006-J *Outage* dari Sistem

Pada **Gambar 4. 1** menunjukkan bahwa frekuensi pada Syn Bus SG-4002 mengalami penurunan level secara terus menerus dari sistem dan tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi pada detik ke-30 mencapai hingga 70.82%. Adanya penurunan ini disebabkan oleh suplai daya yang hilang dari generator 2006-J yang berada di P2 dengan total sebesar 9.1 MW. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapat kondisi *steady state*. Berdasarkan standar IEEE Std. C37.102-2006, penurunan frekuensi yang terjadi dalam studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga diperlukan mekanisme *load shedding*.



**Gambar 4. 2** Respon Tegangan saat Generator 2006-J *Outage* dari Sistem

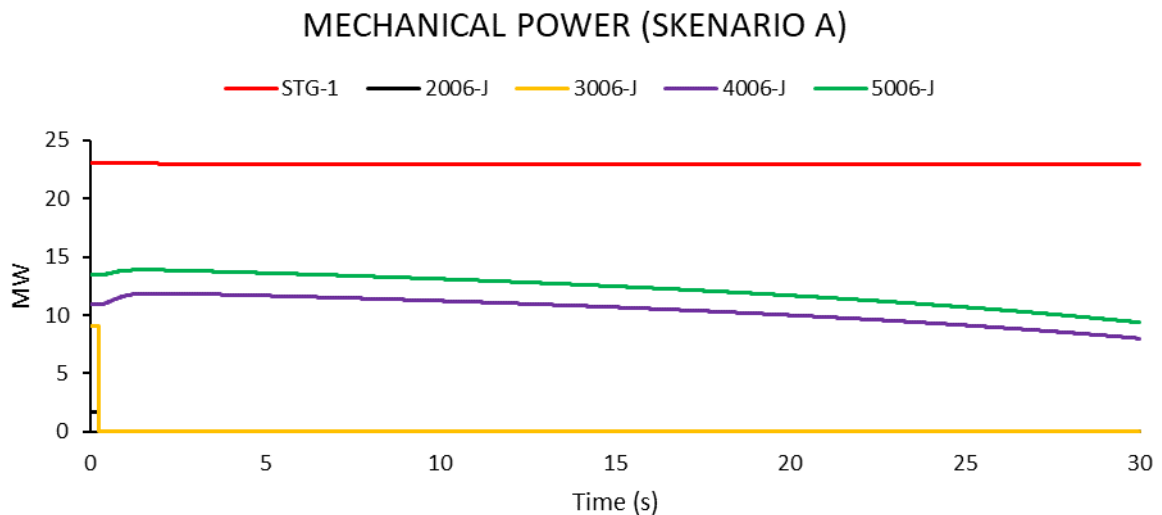
**Gambar 4. 2** menunjukkan bahwa tegangan pada pada Syn Bus SG-4002 mengalami penurunan level tegangan secara terus menerus hingga 97.17% pada detik ke-30. Penurunan tegangan terjadi karena beban-beban pada sistem yang tidak mendapatkan suplai penuh.



**Gambar 4. 3** Respon Sudut Rotor saat Generator 2006-J *Outage* dari Sistem

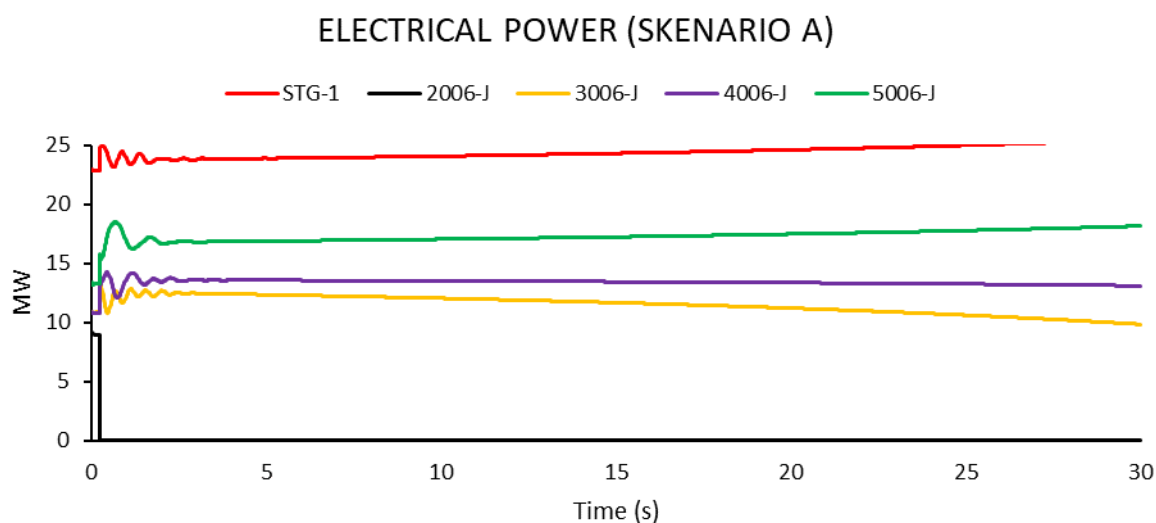
Pada **Gambar 4. 3** ditunjukkan respon sudut relatif dari masing-masing generator terhadap *swing generator* pada saat generator 2006-J di P2 mengalami *outage*. Dari gambar dapat diamati bahwa ketika terjadi gangguan, masing-masing generator mengalami osilasi antara 0.3s hingga 0.8s. Generator P2 (2006-J) mengalami perubahan sudut rotor dengan dari

dari  $1.67^\circ$  ke  $0^\circ$  pada detik ke 0.225 ketika terjadi trip generator. Generator P3 (3006-J) mengalami penurunan terendah hingga  $-8.67^\circ$  dan kenaikan tertinggi pada  $2.14^\circ$  dan masih terus mengalami penurunan hingga akhir waktu simulasi. Generator P4 (4006-J) mengalami penurunan terendah  $-2.33^\circ$  dengan kenaikan tertinggi pada  $4.48^\circ$ . Sedangkan generator P1B (5006-J) yang merupakan *swing generator* stabil pada  $0^\circ$  dan tidak mengalami perubahan.



**Gambar 4. 4** Respon Daya Mekanik saat Generator 2006-J *Outage* dari Sistem

Pada **Gambar 4. 4** didapatkan nilai daya mekanik generator yang berbeda-beda untuk masing-masing generator sesuai dengan rating dan skema studi kasus yang sedang dijalankan. Generator STG memiliki nilai kenaikan maksimal pada 23.0686 MW dan minimal 23 MW. Generator 2006-J pada P2 memiliki nilai kenaikan maksimal 1.67 MW hingga akhirnya turun di detik ke 0.226 setelah dilakukan skema P2 *outage* dari sistem kelistrikan. Generator 3006-J pada P3 mengalami nilai kenaikan maksimal 9.12 MW. Generator 4006-J pada P4 mengalami nilai kenaikan maksimal 11.87 MW dan minimal 11.878 MW. Sedangkan pada Generator 5006-J pada P1B memiliki nilai kenaikan maksimal pada 13.88 MW dan nilai minimal 9.37 MW.



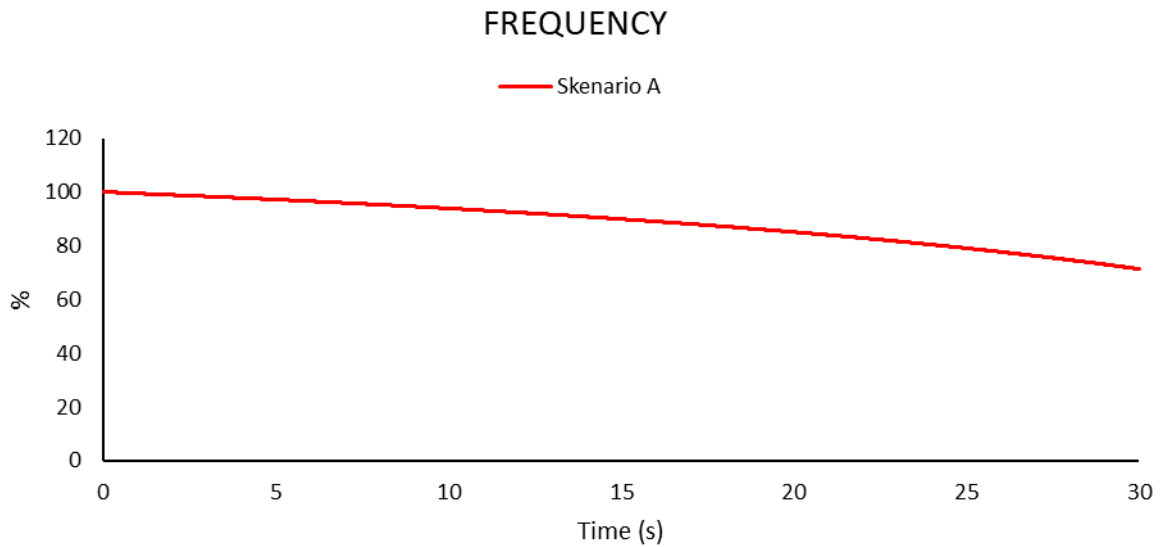
**Gambar 4. 5** Respon Daya Elektrik saat Generator 2006-J *Outage* dari Sistem

Pada **Gambar 4. 5** didapatkan nilai daya elektrik generator yang berbeda-beda untuk masing-masing generator sesuai dengan rating dan skema studi kasus yang sedang dijalankan. Generator STG memiliki nilai kenaikan maksimal pada 25.49 MW dan minimal 22.89 MW. Generator 2006-J pada P2 memiliki nilai kenaikan maksimal 9.1 MW hingga akhirnya turun di detik ke 0.226 setelah dilakukan skema P2 *outage* dari sistem kelistrikan. Generator 3006-J pada P3 mengalami nilai kenaikan maksimal 13.2 MW dan minimal 9.83 MW. Generator 4006-J pada P4 mengalami nilai kenaikan maksimal 14.22 MW dan minimal 10.74 MW. Sedangkan pada Generator 5006-J pada P1B memiliki nilai kenaikan maksimal pada 18.48 MW dan nilai minimal 13.12 MW.

Berdasarkan hasil data respon sudut rotor dan tegangan diatas dapat diamati bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya, namun respon frekuensi menunjukkan bahwa sistem mengalami penurunan yang tidak diperkenankan berdasarkan standar IEEE Std. C37-102-2006: AC Generator Protection. Sehingga sistem dianggap tidak dapat mempertahankan kestabilannya saat generator P2 mengalami *outage* dan membutuhkan mekanisme *load shedding*.

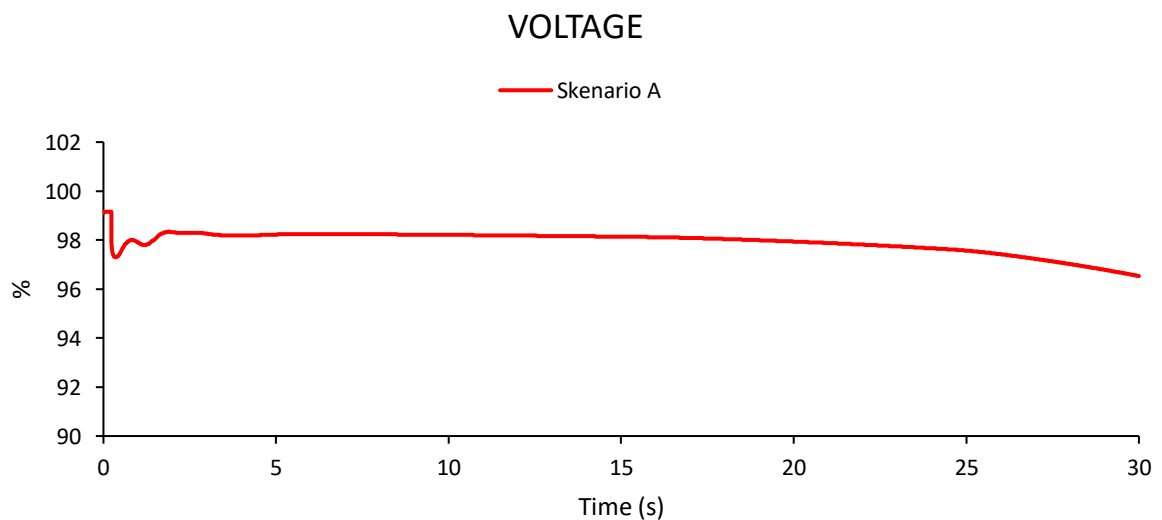
#### 4.3.1.2 Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P3 *Outage* dari Sistem (t=0.225s)

Dalam studi kasus ini ditunjukkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien dengan pola operasi pembangkitan normal kelima generator menyala yang disusul dengan generator P3 3006-J *outage* dari sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Generator disimulasikan mengalami *outage* atau *accidental tripping* saat 0.625 detik dengan total waktu simulasi selama 30 detik.



**Gambar 4. 6** Respon Frekuensi saat Generator 3006-J *Outage* dari Sistem

Pada **Gambar 4. 6** menunjukkan bahwa frekuensi pada Syn Bus SG-4002 mengalami penurunan level secara terus menerus dari sistem dan tidak dapat dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi pada detik ke-30 mencapai hingga 71.39%. Adanya penurunan ini disebabkan oleh suplai daya yang hilang dari generator 3006-J yang berada di P3 dengan total sebesar 10.9 MW. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapat kondisi *steady state*. Berdasarkan standar IEEE Std. C37.102-2006, penurunan frekuensi yang terjadi dalam studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga diperlukan mekanisme *load shedding*.



**Gambar 4. 7** Respon Tegangan saat Generator 3006-J *Outage* dari Sistem



**Gambar 4. 7** menunjukkan bahwa tegangan pada pada Syn Bus SG-4002 mengalami penurunan level tegangan secara terus menerus hingga detik ke-30 dengan nilai penurunan terendah mencapai 96.5%. Penurunan tegangan terjadi karena beban-beban pada sistem yang tidak mendapatkan suplai penuh.

### 4.3.2 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan *Generator Outage* Skenario A

Rekapitulasi kondisi frekuensi dan tegangan generator yang menjadi parameter dalam pengklasifikasian kestabilan sistem untuk Skenario A ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4. 7** Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario A akibat *Generator Outage*

Kasus		Frekuensi (F)				Tegangan (V)				Kondisi	
Skema	Unit Trip	F Min (%)	F Max (%)	Time to Stable	F Steady State (%)	ID BUS	V Min (%)	V Max (%)	V Steady State (%)	F	V
1	P2 Trip	70.828	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	97.177	100.027	Unstable	×	×
2	P3 Trip	71.417	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	96.536	99.167	Unstable	×	×
3	PIB Trip	32.958	100.010	-	Unstable	SynBus SG-4002	72.328	99.167	Unstable	×	×
4	STG Trip	0.000	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	99.167	Unstable	×	×
5	P2 & P3 Trip	35.572	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	20.928	99.167	Unstable	×	×
6	P2 & PIB Trip	25.460	100.010	-	Unstable	SynBus SG-4002	3.527	99.167	Unstable	×	×
7	STG & P2 Trip	0.000	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	99.167	Unstable	×	×
8	P3 & P4 Trip	34.859	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	19.006	99.167	Unstable	×	×
9	P3 & PIB Trip	66.426	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	65.578	99.167	Unstable	×	×
10	STG & P3 Trip	36.419	100.009	-	Unstable	SynBus SG-4002	47.482	99.167	Unstable	×	×
11	P3 Trip	34.770	100.000	-	Unstable	SynBus SG-4002	74.365	98.760	Unstable	×	×
12	PIB Trip	25.383	100.000	-	Unstable	SynBus SG-4002	7.683	98.760	Unstable	×	×
13	STG Trip	0.000	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	98.760	Unstable	×	×
14	P2 Trip	44.035	100.000	-	Unstable	SynBus SG-4002	85.954	98.780	Unstable	×	×
15	P4 Trip	33.888	100.000	-	Unstable	SynBus SG-4002	74.501	98.780	Unstable	×	×
16	PIB Trip	60.895	100.000	-	Unstable	SynBus SG-4002	68.905	98.780	Unstable	×	×
17	STG Trip	31.438	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	49.508	98.780	Unstable	×	×
18	P2 Trip	25.397	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	10.002	98.439	Unstable	×	×
19	P4 Trip	25.035	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	32.600	98.439	Unstable	×	×
20	STG Trip	0.000	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	98.439	Unstable	×	×
21	P2 Trip	0.000	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	98.407	Unstable	×	×
22	P4 Trip	0.000	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	98.407	Unstable	×	×
23	PIB Trip	0.000	100.001	-	Unstable	SynBus SG-4002	0.000	98.407	Unstable	×	×

Keterangan:

	: Pola Operasi Normal
	: Pola Operasi P2 <i>Off</i>
	: Pola Operasi P3 <i>Off</i>
	: Pola Operasi P1B <i>Off</i>
	: Pola Operasi STG <i>Off</i>

### 4.3.3 Simulasi Kestabilan Transien *Generator Outage* dengan Mekanisme *Load Shedding* (Skenario B)

Pada sub bab 4.3.3 dilakukan simulasi kestabilan transien dengan melakukan studi kasus generator *outage* Skenario B yang menjalankan skema *load shedding* eksisting yang telah dimiliki oleh PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan menggunakan metode status guna mengantisipasi terjadinya *accidental tripping*. Generator disimulasikan mengalami *outage* atau *accidental tripping* saat 0.625 detik dengan total waktu simulasi selama 30 detik.

**Tabel 4. 8** Hasil Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme *Load Shedding* Eksisting Metode Status (Skenario B)

Skema	Operating Gen		Gen Failure		Load Shedding (MW)	Estimated time to stable (s)	System Total Load (MW)		Lowest Frequency Drop (%)	Steady State (%)
	Before	After	Gen ID	Power Loss (MW)			Before	After		
1	5	4	P2	9.10	8.90	2.560	67.62	57.80	99.752	100.020
2	5	4	P3	10.90	10.70	4.860	67.62	56.00	99.742	100.020
3	5	4	P1B	13.70	12.70	5.606	67.62	54.40	99.545	99.950
4	5	4	STG	23.00	21.27	5.646	67.62	43.50	99.427	100.050
5	5	3	P2 + P3	20.01	19.70	7.726	67.62	47.50	99.345	99.968
6	5	3	P2 + P1B	22.80	21.40	10.146	67.62	45.90	98.721	99.870
7	5	3	STG + P2	32.10	32.32	6.626	67.62	34.30	99.002	100.070
8	5	3	P3 + P4	21.82	21.90	7.586	67.62	45.40	99.285	100.010
9	5	3	P3 + P1B	24.61	23.40	11.926	67.62	43.90	98.993	99.905
10	5	3	STG + P3	33.91	34.22	12.226	67.62	32.50	99.127	100.064
11	4	3	P3	11.95	11.90	9.246	60.30	48.10	99.586	99.980
12	4	3	P1B	13.40	14.10	17.006	60.30	45.87	99.234	100.067
13	4	3	STG	23.00	23.32	11.626	60.30	36.60	99.229	100.028
14	4	3	P2	9.95	10.00	16.500	58.70	48.60	99.653	99.999
15	4	3	P4	11.95	12.10	13.586	58.70	46.50	99.586	100.019
16	4	3	P1B	13.80	14.30	17.946	58.70	44.10	99.398	100.054
17	4	3	STG	23.00	23.32	20.826	58.70	35.30	99.346	100.028
18	4	3	P2	9.95	10.30	8.220	56.48	45.90	99.422	100.019
19	4	3	P4	11.58	12.40	12.400	56.48	43.80	99.337	100.076
20	4	3	STG	23.00	23.32	11.686	56.48	32.80	99.033	100.029
21	4	3	P2	9.95	10.00	9.306	47.46	37.40	99.649	100.001
22	4	3	P4	11.95	11.90	9.606	47.46	35.10	99.580	100.130
23	4	3	P1B	13.61	13.80	9.776	47.46	33.10	99.387	100.064

Dari hasil simulasi menggunakan Skenario B yakni mekanisme *load shedding* eksisting metode status yang telah dimiliki oleh PT. Pupuk Sriwidjajaja Palembang dengan menjalankan kemungkinan *generator failure* yang terjadi untuk masing-masing pola operasi sesuai dengan **Tabel 4. 3** didapatkan nilai frekuensi terendah masih berada dalam batas standar regulasi frekuensi IEEE Std.C37-102-2006: AC Generator Protection dengan mempertimbangkan waktunya. Ditinjau dari persentase frekuensi saat kondisi *steady state* yang didapatkan dari simulasi nilai yang diperoleh juga masih berada dalam batas *continue operation* pada standar frekuensi yang digunakan.

#### 4.3.4 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan *Generator Outage* Skenario B

Rekapitulasi kondisi frekuensi dan tegangan generator yang menjadi parameter dalam pengklasifikasian kestabilan sistem untuk Skenario A ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4. 9** Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario B akibat *Generator Outage*

Kasus		Frekuensi (F)				Tegangan (V)					Kestabilan	
Skema	Unit Trip	F Min (%)	F Max (%)	Time to Stable	F Steady State (%)	ID BUS	V Min (%)	V Max (%)	Time to Stable	V Steady State (%)	F	V
1	P2 Trip	99.752	100.040	2.560	100.020	SynBus SG-4002	98.330	99.925	4.880	98.920	✓	✓
2	P3 Trip	99.742	100.033	4.860	100.020	SynBus SG-4002	97.292	99.812	6.486	98.910	✓	✓
3	PIB Trip	99.545	100.010	5.606	99.950	SynBus SG-4002	94.904	99.167	4.706	98.615	✓	✓
4	STG Trip	99.427	100.085	5.646	100.050	SynBus SG-4002	91.622	99.998	8.026	98.790	✓	✓
5	P2 & P3 Trip	99.345	100.009	7.726	99.968	SynBus SG-4002	95.349	101.183	13.006	98.547	✓	✓
6	P2 & PIB Trip	98.721	100.010	10.146	99.870	SynBus SG-4002	90.912	99.304	9.806	98.119	✓	✓
7	STG & P2 Trip	99.002	100.106	6.626	100.070	SynBus SG-4002	87.832	101.685	15.346	98.350	✓	✓
8	P3 & P4 Trip	99.285	100.017	7.586	100.010	SynBus SG-4002	94.073	101.213	8.306	99.360	✓	✓
9	P3 & PIB Trip	98.993	100.009	11.926	99.905	SynBus SG-4002	88.792	99.167	7.226	98.307	✓	✓
10	STG & P3 Trip	99.127	100.081	12.226	100.064	SynBus SG-4002	86.803	100.770	10.986	99.000	✓	✓
11	P3 Trip	99.586	100.303	9.246	99.980	SynBus SG-4002	96.712	100.013	11.460	98.388	✓	✓
12	PIB Trip	99.234	100.113	17.006	100.067	SynBus SG-4002	93.177	98.985	12.886	98.195	✓	✓
13	STG Trip	99.229	100.034	11.626	100.028	SynBus SG-4002	88.603	99.723	16.206	98.349	✓	✓
14	P2 Trip	99.653	100.013	16.500	99.999	SynBus SG-4002	97.486	100.282	9.466	98.457	✓	✓
15	P4 Trip	99.586	100.027	13.586	100.019	SynBus SG-4002	96.086	100.310	5.825	98.400	✓	✓
16	PIB Trip	99.398	100.082	17.946	100.054	SynBus SG-4002	92.632	98.780	9.426	98.070	✓	✓
17	STG Trip	99.346	100.031	20.826	100.028	SynBus SG-4002	88.324	99.584	8.566	98.380	✓	✓
18	P2 Trip	99.422	100.036	8.220	100.019	SynBus SG-4002	95.923	98.839	8.206	97.910	✓	✓
19	P4 Trip	99.337	100.128	12.400	100.076	SynBus SG-4002	95.112	99.177	8.246	98.070	✓	✓
20	STG Trip	99.033	100.040	11.686	100.029	SynBus SG-4002	86.973	98.921	12.706	97.957	✓	✓
21	P2 Trip	99.649	100.003	9.306	100.001	SynBus SG-4002	96.584	99.233	7.586	98.260	✓	✓
22	P4 Trip	99.580	100.017	9.606	100.130	SynBus SG-4002	95.452	98.822	11.046	97.907	✓	✓
23	PIB Trip	99.387	100.080	9.776	100.064	SynBus SG-4002	92.022	98.407	17.226	97.079	✓	✓

Keterangan:

	: Pola Operasi Normal
	: Pola Operasi P2 <i>Off</i>
	: Pola Operasi P3 <i>Off</i>
	: Pola Operasi P1B <i>Off</i>
	: Pola Operasi STG <i>Off</i>

#### 4.3.5 Simulasi Kestabilan Transien *Generator Outage* dengan Mekanisme *Load Shedding* (Skenario C)

Pada sub bab 4.3.5 dilakukan simulasi kestabilan transien dengan melakukan studi kasus generator *outage* Skenario C yang menjalankan skema *load shedding* rekomendasi metode status menggunakan besaran yang telah dikalkulasi dan dipilih berdasarkan aspek kestabilan pada sistem sesuai dengan regulasi yang berlaku. Generator disimulasikan mengalami *outage* atau *accidental tripping* saat 0.625 detik dengan total waktu simulasi selama 30 detik. Hasil terperinci ditunjukkan pada **Tabel 4. 10** dibawah ini.

**Tabel 4. 10** Hasil Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme Load Shedding Rekomendasi Metode Status (Skenario C)

Skema	Operating Gen		Gen Failure		Load Shedding (MW)	Estimated time to stable (s)	System Total Load (MW)		Lowest Frequency Drop (%)	Steady State (%)
	Before	After	Gen ID	Power Loss (MW)			Before	After		
1	5	4	P2	9.10	6,70	5.39	67.62	60.20	99.823	99.823
2	5	4	P3	10.90	8,60	7.47	67.62	58.00	99.861	99.861
3	5	4	P1B	13.70	10.80	13.73	67.62	56.50	99.808	99.808
4	5	4	STG	23.00	19,92	9.13	67.62	46.90	99.856	99.856
5	5	3	P2 + P3	20.01	18,60	26.25	67.62	48.60	99.526	99.526
6	5	3	P2 + P1B	22.80	21,00	22.53	67.62	46.30	99.826	99.826
7	5	3	STG + P2	32.10	30,12	28.23	67.62	37.30	99.787	99.787
8	5	3	P3 + P4	21.82	20,60	14.17	67.62	46.60	99.386	99.386
9	5	3	P3 + P1B	24.61	22,70	27.85	67.62	44.50	99.734	99.734
10	5	3	STG + P3	33.91	31,62	17.69	67.62	35.10	99.878	99.878
11	4	3	P3	11.95	11,90	12.37	60.30	48.10	100.303	99.989
12	4	3	P1B	13.40	14,10	10.43	60.30	46.00	100.067	100.067
13	4	3	STG	23.00	23,32	12.09	60.30	36.60	100.028	100.028
14	4	3	P2	9.95	10,00	17.27	58.70	48.60	100.009	100.009
15	4	3	P4	11.95	12,10	16.99	58.70	46.50	100.019	100.019
16	4	3	P1B	13.80	14,30	21.29	58.70	44.10	100.054	100.054
17	4	3	STG	23.00	23,32	21.03	58.70	35.30	100.028	100.028
18	4	3	P2	9.95	10,30	8.49	56.48	45.90	100.019	100.019
19	4	3	P4	11.58	12,40	20.53	56.48	43.80	100.076	100.076
20	4	3	STG	23.00	23,32	10.51	56.48	33.40	100.029	100.029

Skema	Operating Gen		Gen Failure		Load Shedding (MW)	Estimated time to stable (s)	System Total Load (MW)		Lowest Frequency Drop (%)	Steady State (%)
	Before	After	Gen ID	Power Loss (MW)			Before	After		
21	4	3	P2	9.95	10,00	9.31	47.46	37.40	100.001	100.001
22	4	3	P4	11.95	11,90	8.07	47.46	35.10	100.130	100.130
23	4	3	P1B	13.61	13,80	9.65	47.46	33.10	100.064	100.064

Dari hasil simulasi menggunakan Skenario C yakni mekanisme *load shedding* rekomendasi menggunakan metode status dengan menjalankan kemungkinan *generator failure* yang terjadi untuk masing-masing pola operasi sesuai dengan **Tabel 4. 10**, didapatkan nilai frekuensi terendah masih berada dalam batas standar regulasi frekuensi IEEE Std.C37-102-2006: AC Generator Protection dengan mempertimbangkan waktunya. Ditinjau dari persentase frekuensi saat kondisi *steady state* yang didapatkan dari simulasi nilai yang diperoleh juga masih berada dalam batas *continue operation* pada standar frekuensi yang digunakan.

#### 4.3.6 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan *Generator Outage* Skenario C

Rekapitulasi kondisi frekuensi dan tegangan generator yang menjadi parameter dalam pengklasifikasian kestabilan sistem untuk Skenario A ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4. 11** Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario C akibat *Generator Outage*

Skema	Kasus	Frekuensi (F)				Tegangan (V)					Kestabilan	
		Unit Trip	F Min (%)	F Max (%)	Time to Stable	F Steady State (%)	ID BUS	V Min (%)	V Max (%)	Time to Stable	V Steady State (%)	F
1	P2 Trip	99.724	100.009	5.39	99.823	SynBus SG-4002	98.330	99.629	9.85	98.884	✓	✓
2	P3 Trip	99.738	100.009	7.47	99.861	SynBus SG-4002	97.292	99.552	11.46	98.880	✓	✓
3	P1B Trip	99.501	100.010	13.73	99.808	SynBus SG-4002	94.904	99.167	7.66	98.524	✓	✓
4	STG Trip	99.403	100.009	9.13	99.856	SynBus SG-4002	91.622	99.629	14.526	98.582	✓	✓
5	P2 & P3 Trip	99.320	100.009	26.25	99.526	SynBus SG-4002	95.349	101.004	9.116	98.524	✓	✓
6	P2 & P1B Trip	98.693	100.010	22.53	99.826	SynBus SG-4002	90.912	99.167	12.526	98.076	✓	✓
7	STG & P2 Trip	98.891	100.009	28.23	99.787	SynBus SG-4002	87.832	100.564	12.566	98.636	✓	✓
8	P3 & P4 Trip	99.259	100.009	14.17	99.386	SynBus SG-4002	94.073	101.122	8.966	98.495	✓	✓
9	P3 & P1B Trip	98.964	100.009	27.85	99.734	SynBus SG-4002	88.792	99.167	11.186	98.159	✓	✓
10	STG & P3 Trip	99.127	100.009	17.69	99.878	SynBus SG-4002	86.803	99.892	8.026	98.324	✓	✓
11	P3 Trip	99.586	100.303	12.37	99.989	SynBus SG-4002	96.712	100.013	14.646	98.383	✓	✓
12	P1B Trip	99.234	100.113	10.43	100.067	SynBus SG-4002	93.177	98.985	16.686	98.181	✓	✓
13	STG Trip	99.229	100.034	12.09	100.028	SynBus SG-4002	88.603	99.723	15.186	98.350	✓	✓
14	P2 Trip	99.653	100.013	17.27	100.009	SynBus SG-4002	97.486	100.282	6.286	98.457	✓	✓
15	P4 Trip	99.586	100.027	16.99	100.019	SynBus SG-4002	96.086	100.310	5.826	98.398	✓	✓
16	P1B Trip	99.398	100.082	21.29	100.054	SynBus SG-4002	92.632	98.780	7.186	98.065	✓	✓
17	STG Trip	99.346	100.031	21.03	100.028	SynBus SG-4002	88.324	99.584	8.026	98.377	✓	✓
18	P2 Trip	99.422	100.036	8.49	100.019	SynBus SG-4002	95.923	98.839	7.246	97.917	✓	✓
19	P4 Trip	99.337	100.128	20.53	100.076	SynBus SG-4002	95.112	99.177	8.926	98.075	✓	✓

Kasus		Frekuensi (F)				Tegangan (V)					Kestabilan	
Skema	Unit Trip	F Min (%)	F Max (%)	Time to Stable	F Steady State (%)	ID BUS	V Min (%)	V Max (%)	Time to Stable	V Steady State (%)	F	V
20	STG Trip	99.033	100.040	10.51	100.029	SynBus SG-4002	86.973	98.921	9.106	97.961	✓	✓
21	P2 Trip	99.649	100.003	9.31	100.001	SynBus SG-4002	96.584	99.233	12.426	98.262	✓	✓
22	P4 Trip	99.580	100.017	8.07	100.130	SynBus SG-4002	95.452	98.822	12.266	97.908	✓	✓
23	P1B Trip	99.387	100.080	9.65	100.064	SynBus SG-4002	92.022	98.407	12.426	97.098	✓	✓

Keterangan:

	: Pola Operasi Normal
	: Pola Operasi P2 <i>Off</i>
	: Pola Operasi P3 <i>Off</i>
	: Pola Operasi P1B <i>Off</i>
	: Pola Operasi STG <i>Off</i>

#### 4.3.7 Simulasi Kestabilan Transien *Generator Outage* dengan Mekanisme *Load Shedding* (Skenario D)

Pada sub bab 4.3.7 dilakukan simulasi kestabilan transien dengan melakukan studi kasus generator *outage* Skenario D yang menjalankan skema *load shedding* metode frekuensi menggunakan skema pelepasan beban tiga langkah sesuai dengan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dengan besaran yang telah dikalkulasi berdasarkan regulasi yang berlaku. Generator disimulasikan mengalami *outage* atau *accidental tripping* saat 0.625 detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik. Waktu total *circuit breaker* untuk membuka untuk setiap *stage* pelepasan beban berbeda-beda yang didapatkan dari akumulasi waktu frekuensi menyentuh *tripping point* yang telah ditentukan pada standar pelepasan beban ditambah dengan *time delay relay* selama 6 *cycle* (0.12s) dan *circuit breaker operating time* selama 0.25s. Hasil terperinci ditunjukkan pada **Tabel 4. 10** dibawah ini.

**Tabel 4. 12** Hasil Simulasi Kestabilan Transien dengan Mekanisme *Load Shedding* Metode Status (Skenario D)

Skema	Operating Gen		Gen Failure		LS Stage	Load Shedding (MW)	Estimated time to stable (s)	System Total Load (MW)		Lowest Frequency Drop (%)	Steady State (%)
	Before	After	Gen ID	Power Loss (MW)				Before	After		
1	5	4	P2	9.10	#1	6.80	35.00	67.62	60	98.656	99.85
2	5	4	P3	10.91	#2	15.60	16.45	67.62	41.90	98.118	100.30
3	5	4	P1B	12.68	#2	15.90	17.43	67.62	41.00	98.009	100.16
4	5	4	STG	23.00	#3	20.02	26.32	67.62	45.20	97.405	99.95
11	4	3	P3	11.95	#2	15.10	14.07	60.30	33.90	98.007	100.28

Dari hasil simulasi dapat dibuktikan bahwa skema pelepasan beban tiga langkah metode frekuensi yang dipilih telah mampu mengembalikan kestabilan sistem dimana nilai

frekuensi terendah masih berada dalam batas standar operasi frekuensi IEEE Std.C37-102-2006: AC Generator Protection dengan mempertimbangkan waktunya. Skema 1 yaitu pola operasi normal yang disusul dengan generator 2006-J (P2) *outage* dari sistem kelistrikan hanya membutuhkan 1 *stage* atau langkah pelepasan beban. Berbeda dengan skema 2 (pola operasi normal yang disusul dengan generator 3006-J *outage*), skema 3 (pola operasi normal yang disusul dengan generator 5006-J *outage*), dan skema 11 (pola operasi P2 *off* yang disusul dengan *outage generator* P3), dalam mengembalikan kestabilan sistem dari ketiga skema tersebut dibutuhkan hingga dua langkah pelepasan beban. Sedangkan untuk skema 4 yaitu pola operasi normal yang disusul dengan *trip* STG membutuhkan hingga tiga langkah pelepasan beban karena daya yang hilang ketika STG *outage* dari sistem terlalu besar dimana pelepasan beban satu langkah dan dua langkah belum mampu mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan.

#### 4.3.8 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Generator Outage Skenario D

Rekapitulasi kondisi frekuensi dan tegangan generator yang menjadi parameter dalam pengklasifikasian kestabilan sistem untuk Skenario A ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4. 13** Rekapitulasi Parameter Kestabilan Transien Skenario D akibat *Generator Outage*

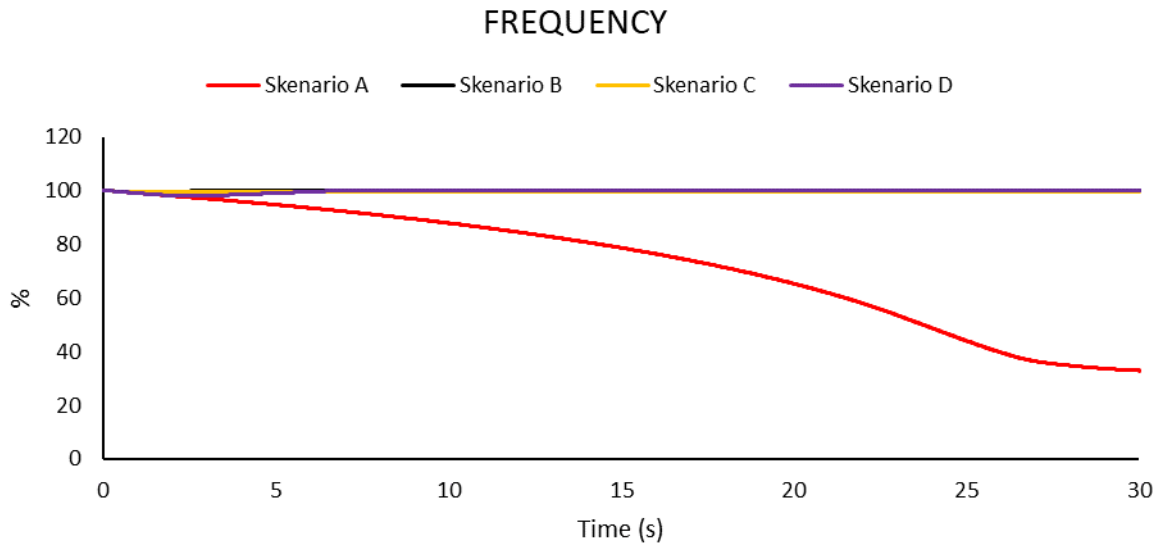
Kasus			Frekuensi (F)				Tegangan (V)					Kestabilan	
Skema	Unit Trip	LS Stage	F Min (%)	F Max (%)	Time to Stable	F Steady State (%)	ID BUS	V Min (%)	V Max (%)	Time to Stable	V Steady State (%)	F	V
1	P2 Trip	#1	98.656	100.009	35.00	99.85	SynBus SG-4002	98.223	99.435	32.511	98.977	✓	✓
2	P3 Trip	#2	98.118	100.348	16.45	100.30	SynBus SG-4002	97.292	99.829	13.471	98.97	✓	✓
3	P1B Trip	#2	98.009	100.252	17.43	100.16	SynBus SG-4002	94.904	100.195	12.392	98.7	✓	✓
4	STG Trip	#3	97.405	100.09	26.32	99.95	SynBus SG-4002	91.622	99.853	13.859	98.7	✓	✓
11	P3 Trip	#2	98.007	100.318	14.07	98.007	SynBus SG-4002	96.712	100.340	14.54	98.8	✓	✓

Keterangan:

- : Pola Operasi Normal
- : Pola Operasi P2 *Off*

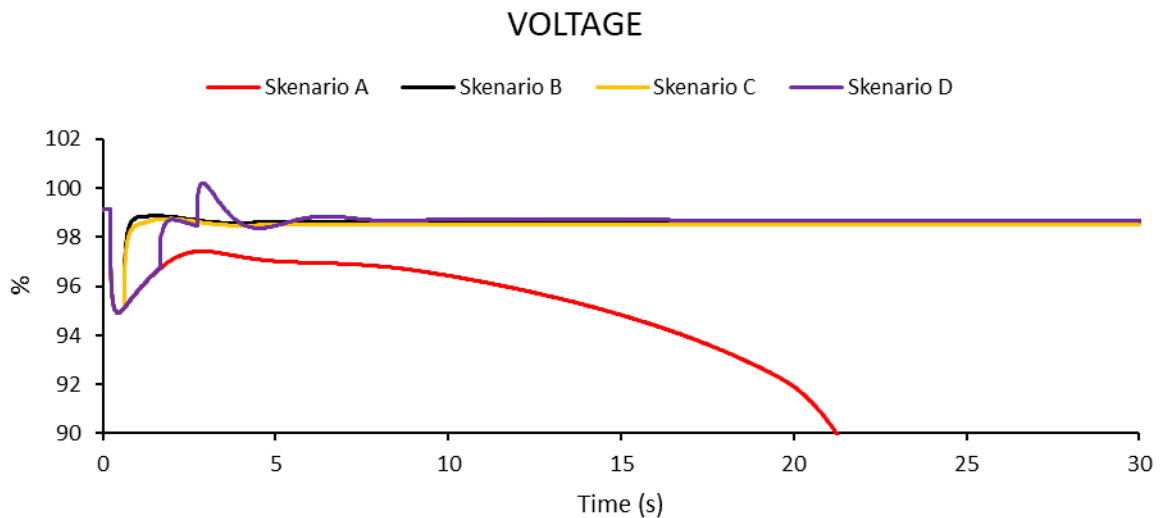
### 4.3.9 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Hasil Simulasi Antar Skenario

#### 4.3.9.1 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal Generator P2 Outage dari Sistem



**Gambar 4. 8** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 Trip

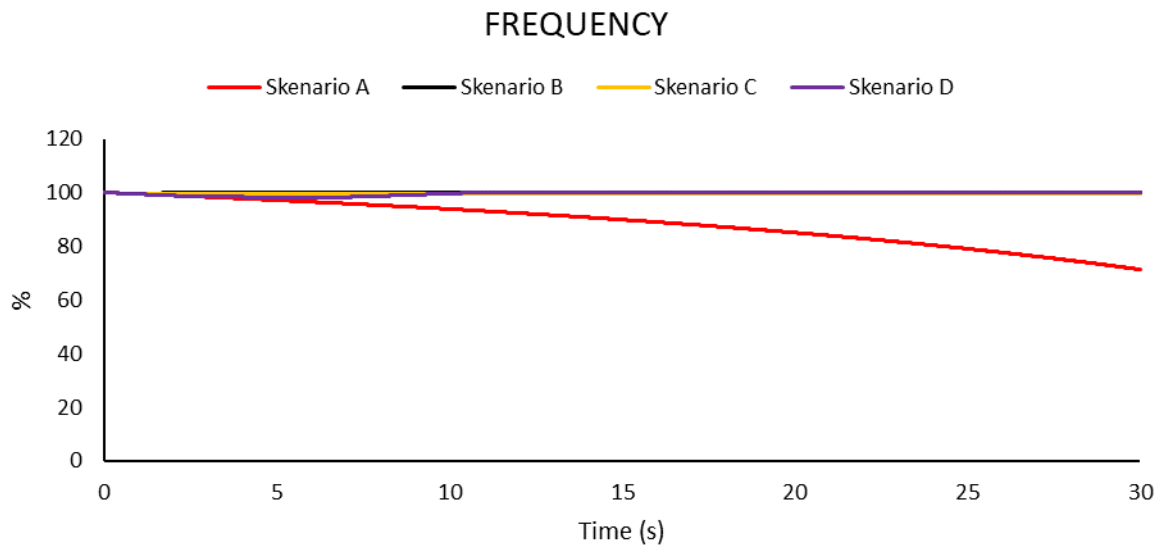
Dari 4 skenario yang dilakukan, pada Skenario A frekuensi terus mengalami penurunan dan tidak dapat mencapai kestabilan dengan *tripping point* terendah 70.828%,



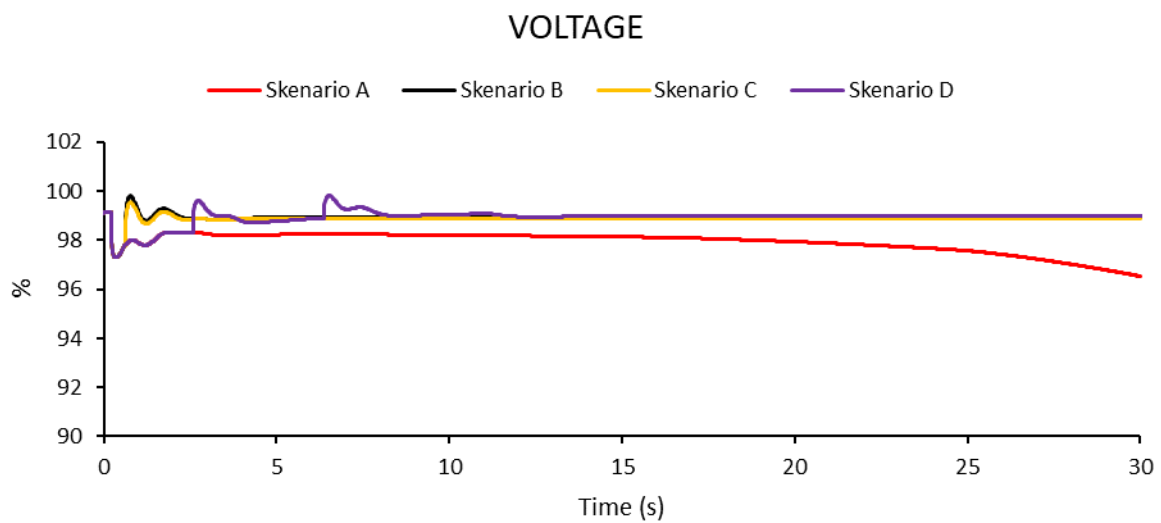
**Gambar 4. 9** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 Trip



### 4.3.9.2 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator P3 Outage dari Sistem

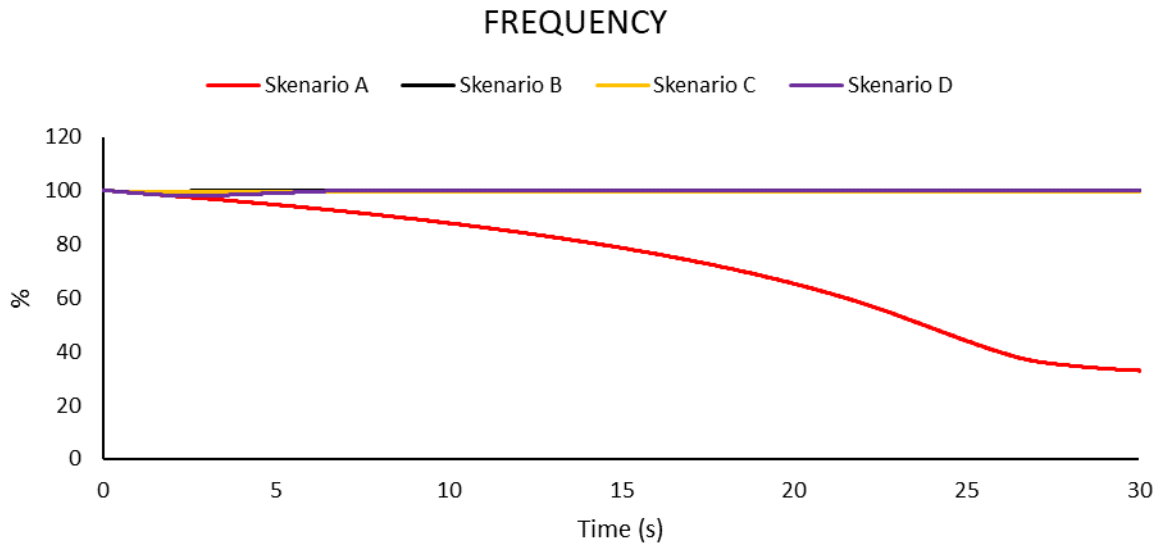


**Gambar 4. 10** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 Trip

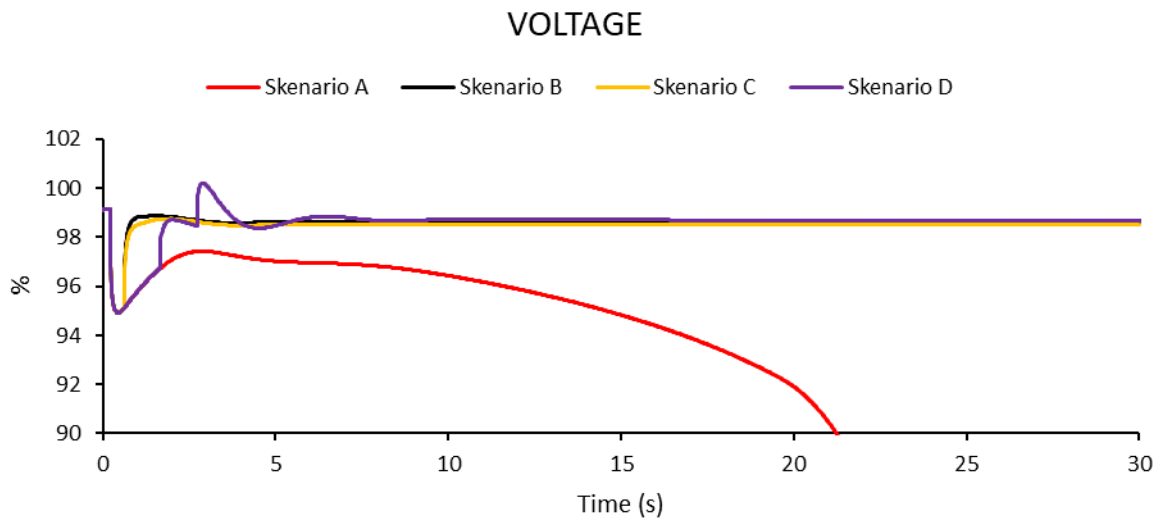


**Gambar 4. 11** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 Trip

### 4.3.9.3 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator P1B Outage dari Sistem

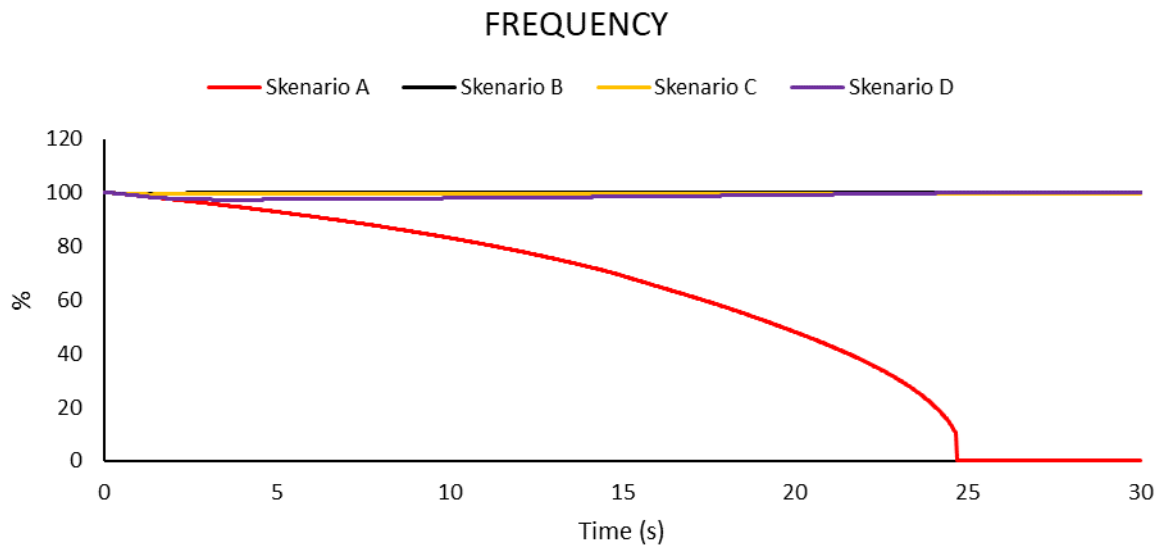


**Gambar 4. 12** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P1B Trip

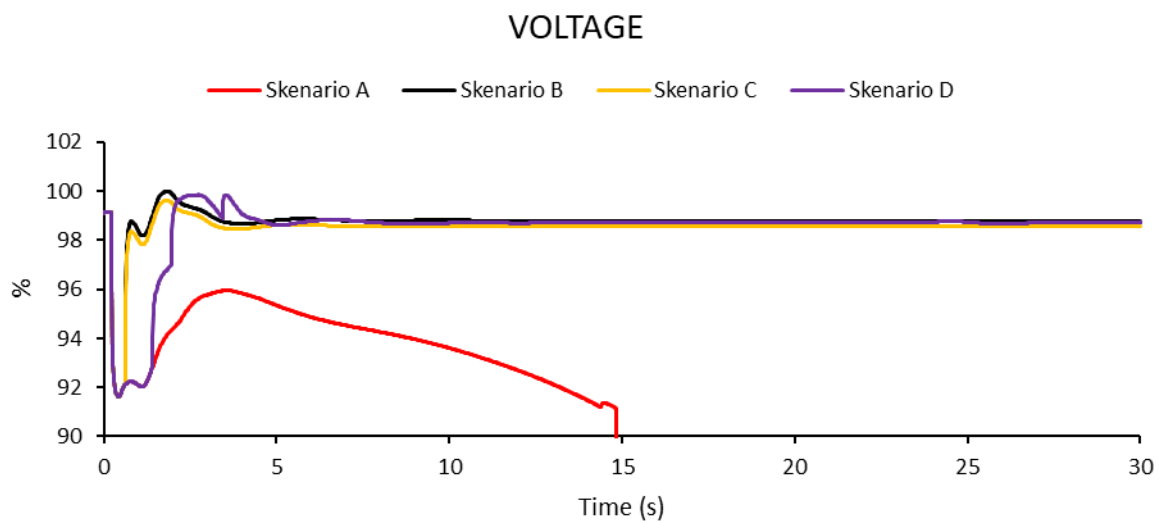


**Gambar 4. 13** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P1B Trip

#### 4.3.9.4 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator STG Outage dari Sistem

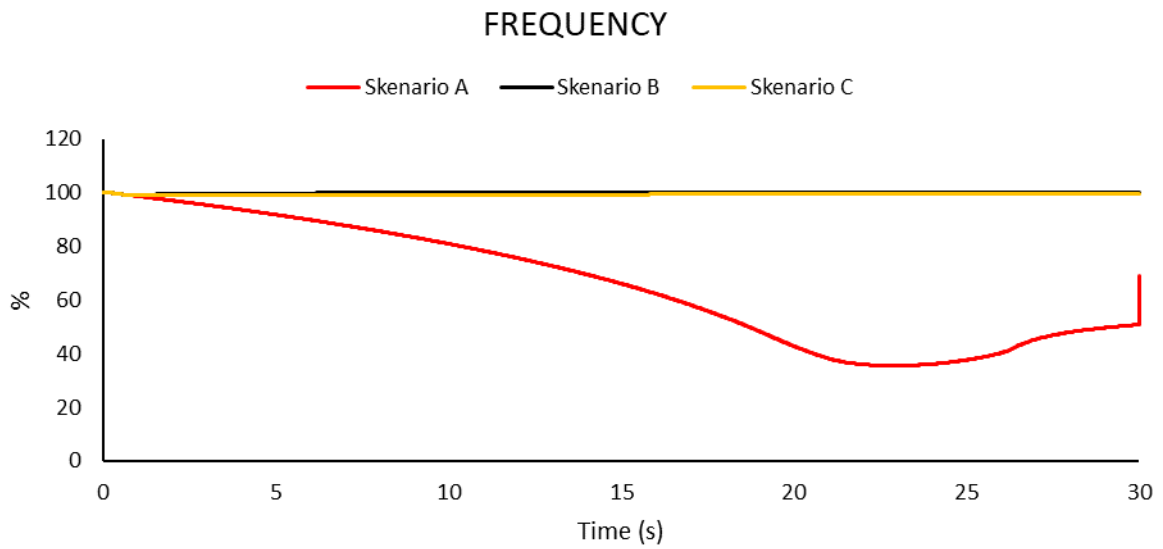


**Gambar 4. 14** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG Trip

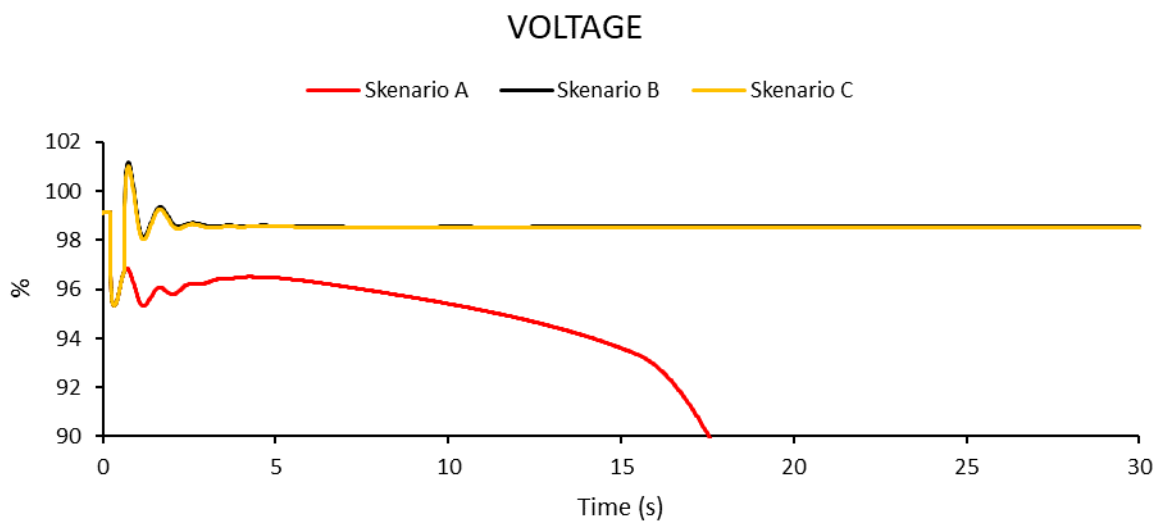


**Gambar 4. 15** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG Trip

#### 4.3.9.5 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan C Pola Operasi Normal, Generator P2 & P3 Outage dari Sistem

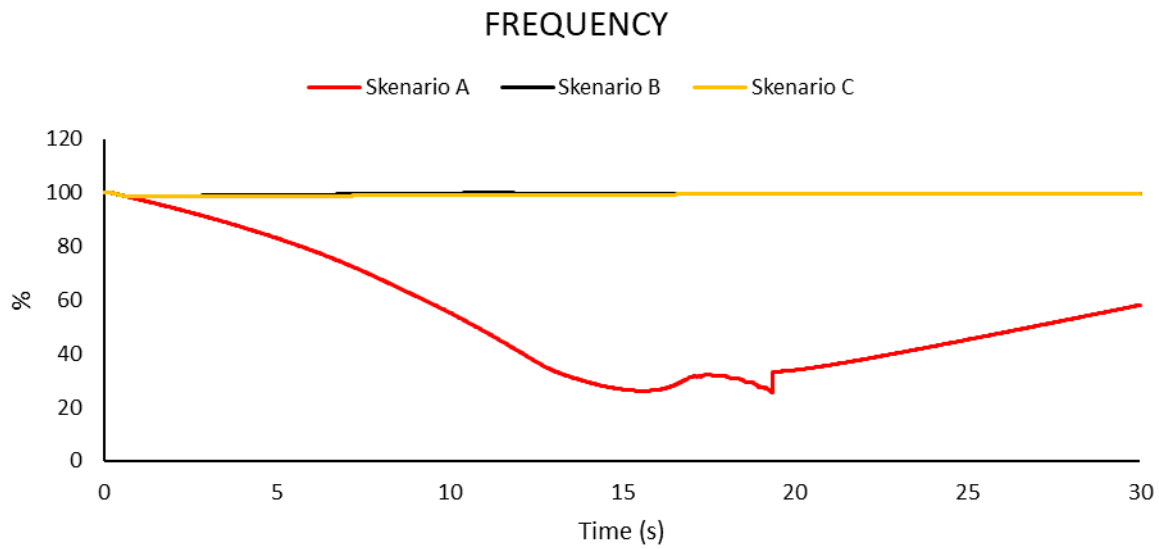


**Gambar 4. 16** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P3 Trip

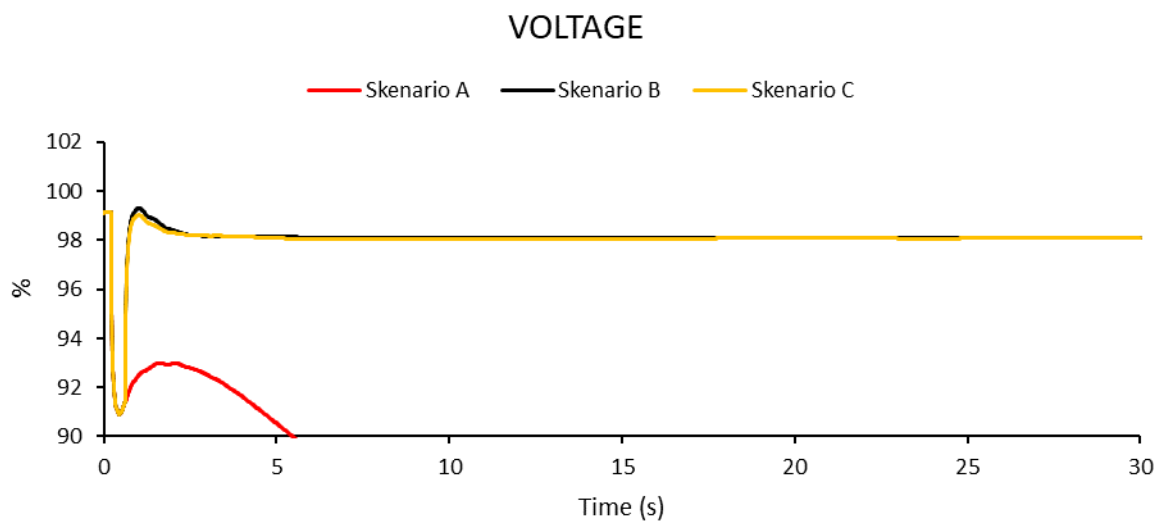


**Gambar 4. 17** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P3 Trip

#### 4.3.9.6 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator P2 & P1B Outage dari Sistem

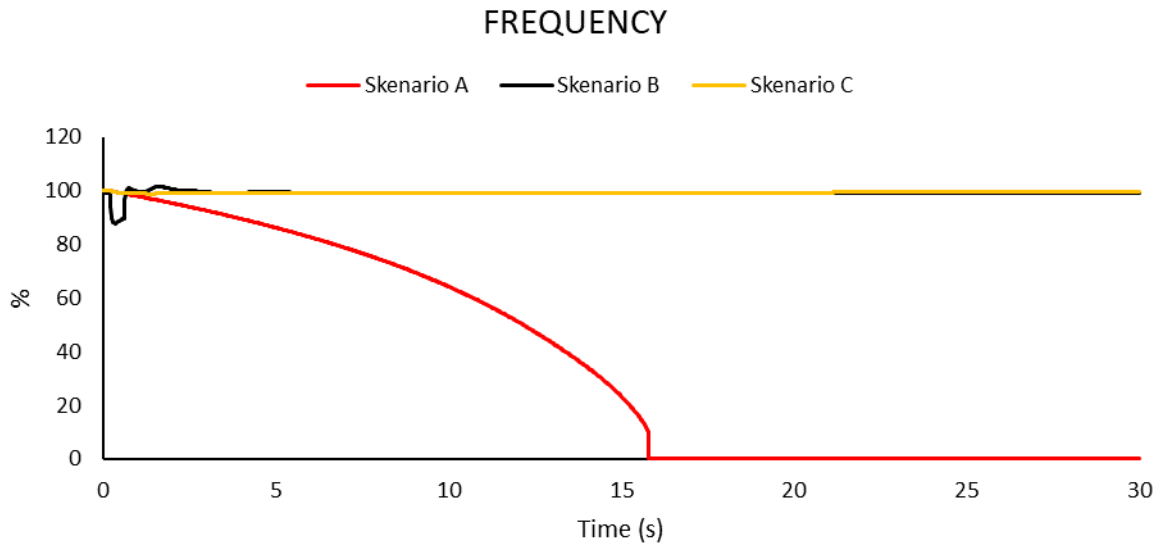


Gambar 4. 18 Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P1B Trip

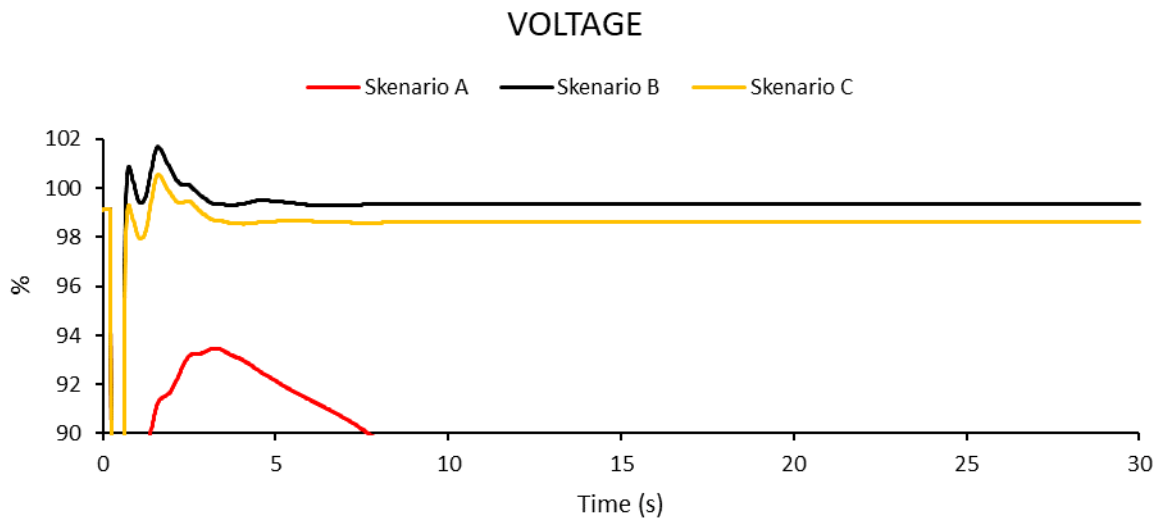


Gambar 4. 19 Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P2 dan P1B Trip

#### 4.3.9.7 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator STG & P2 Outage dari Sistem

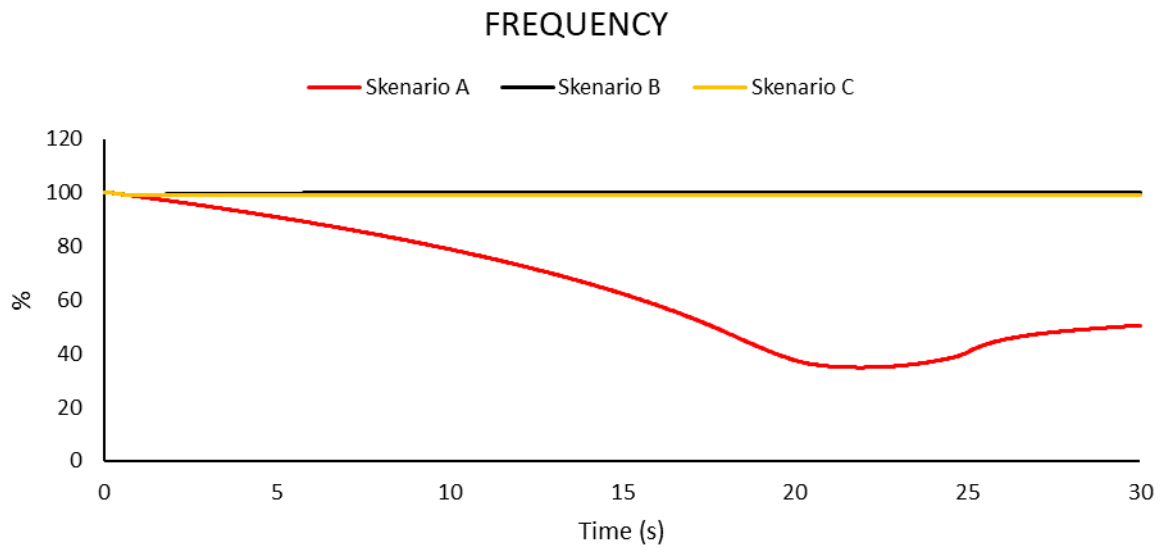


**Gambar 4. 20** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P2 Trip

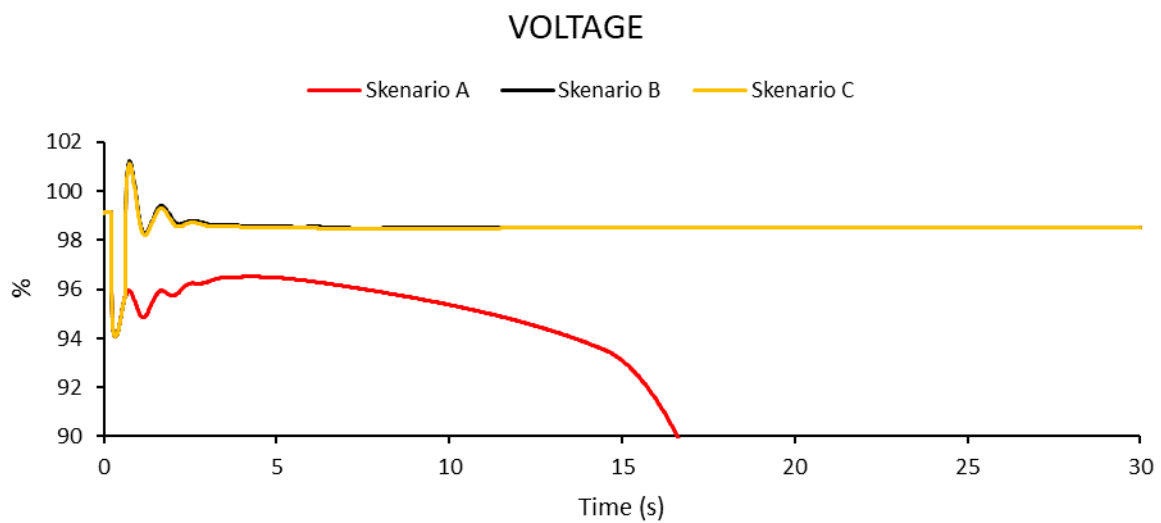


**Gambar 4. 21** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P2 Trip

#### 4.3.9.8 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Operasi Normal, Generator P3 & P4 Outage dari Sistem

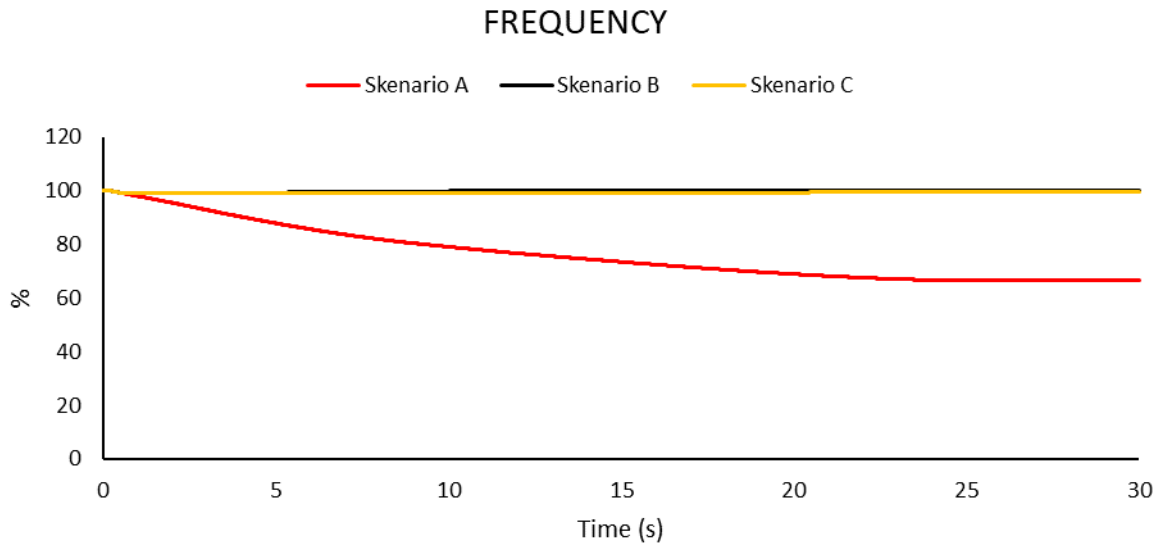


**Gambar 4. 22** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip

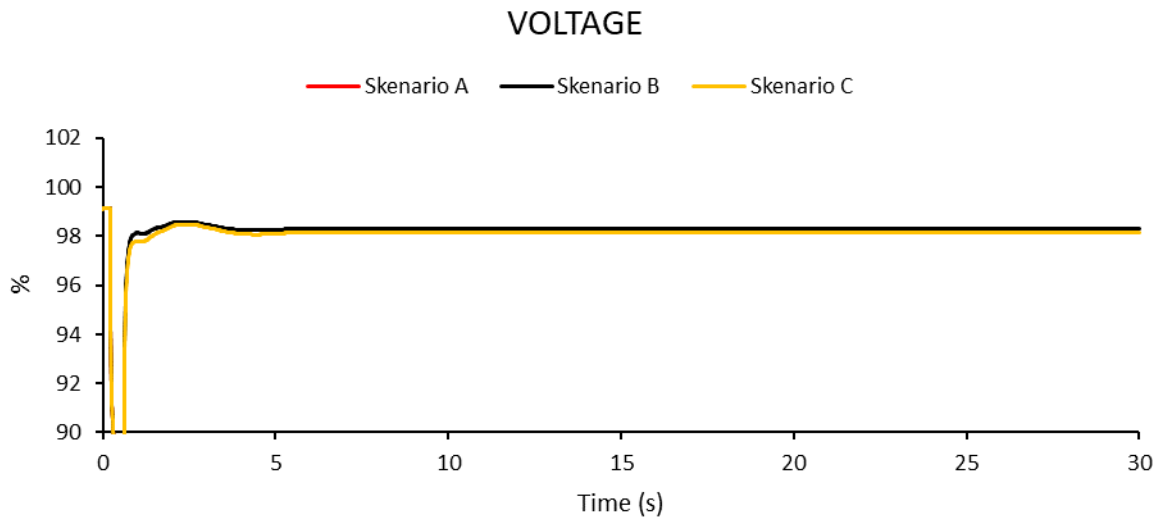


**Gambar 4. 23** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip

#### 4.3.9.9 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator P3 & P1B Outage dari Sistem



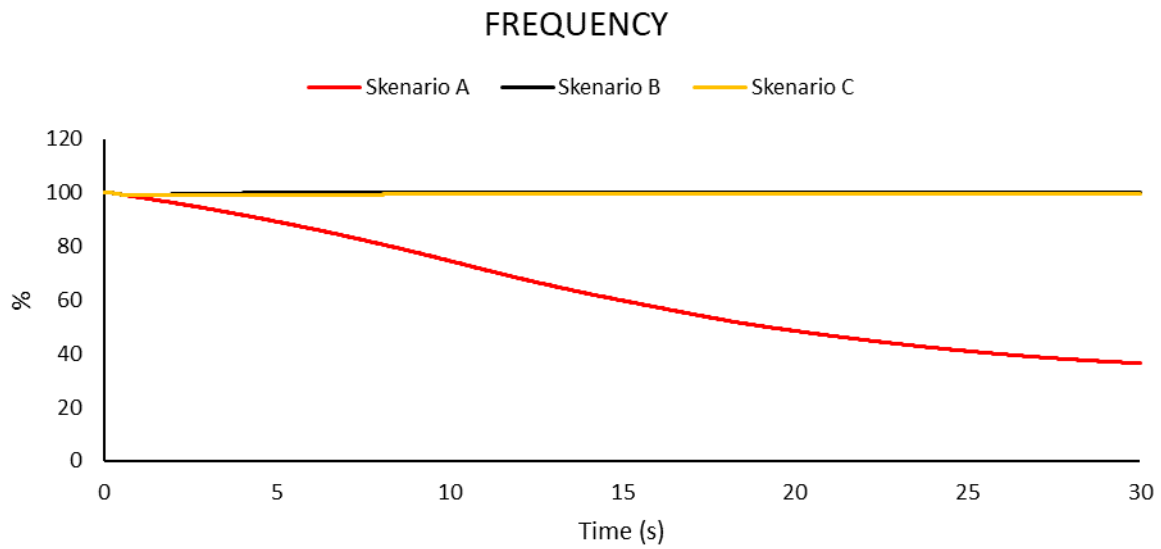
Gambar 4. 24 Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip



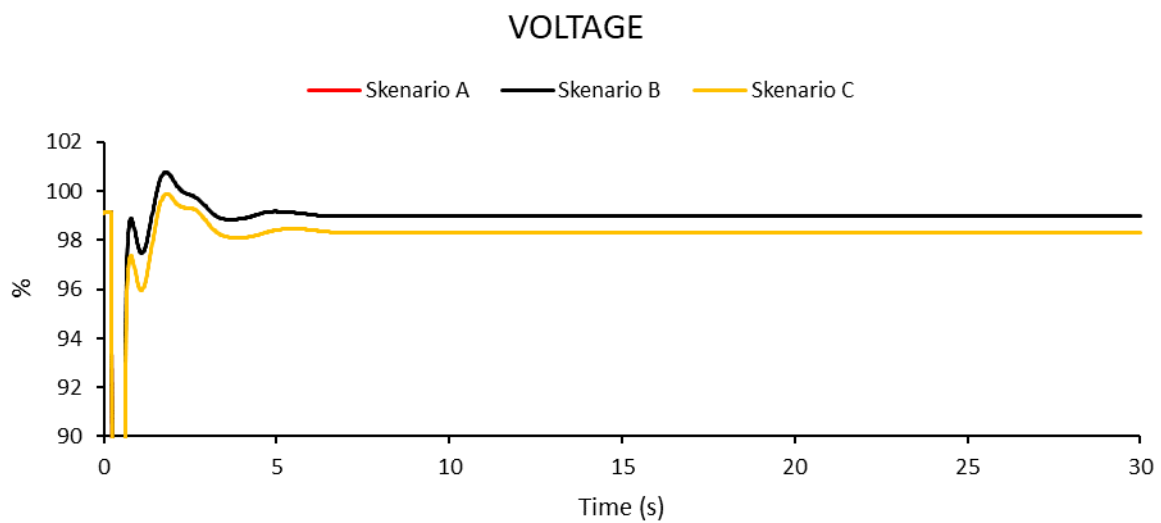
Gambar 4. 25 Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal P3 dan P4 Trip



#### 4.3.9.10 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi Normal, Generator STG & P3 Outage dari Sistem

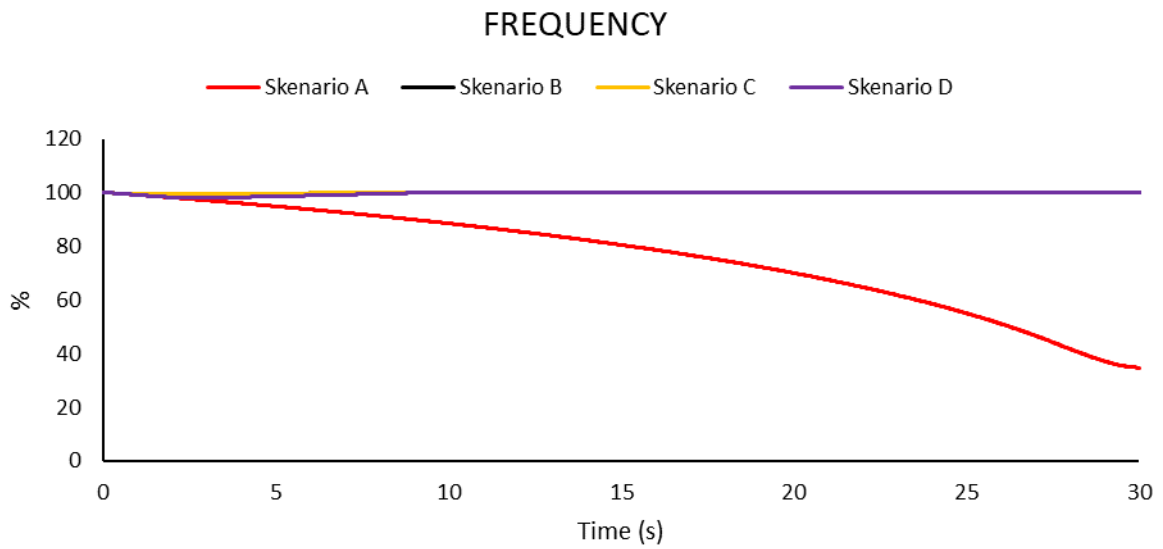


**Gambar 4. 26** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P3 Trip

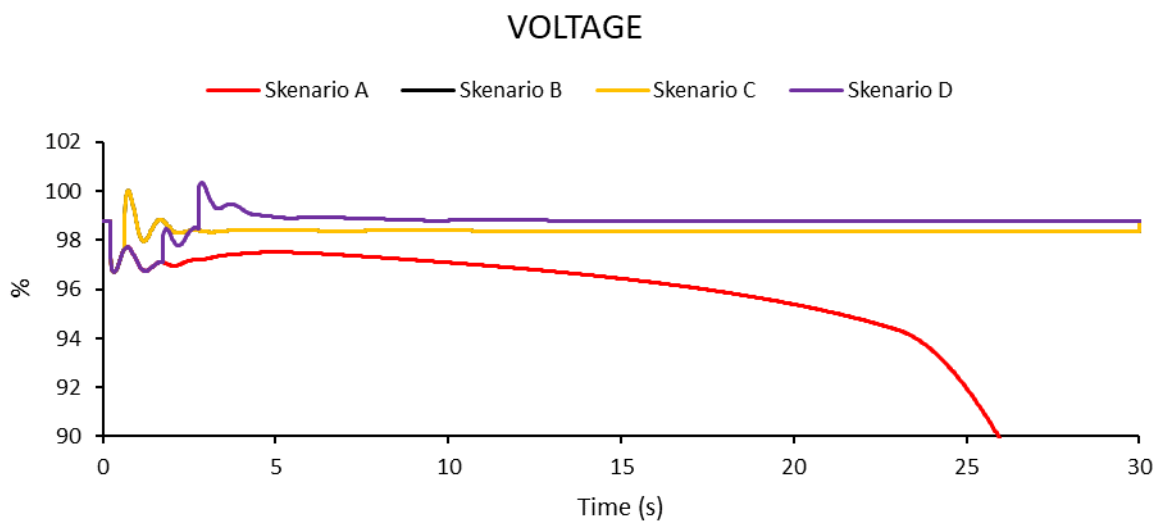


**Gambar 4. 27** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi Normal STG dan P3 Trip

#### 4.3.9.11 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P2 Off, Generator P3 Outage dari Sistem

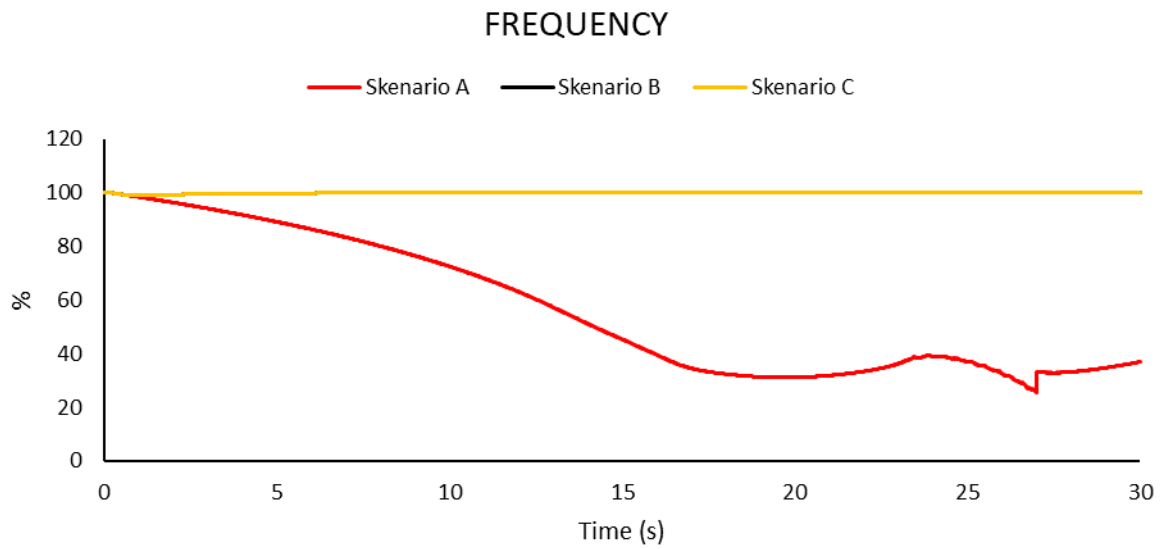


**Gambar 4. 28** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P3 Trip

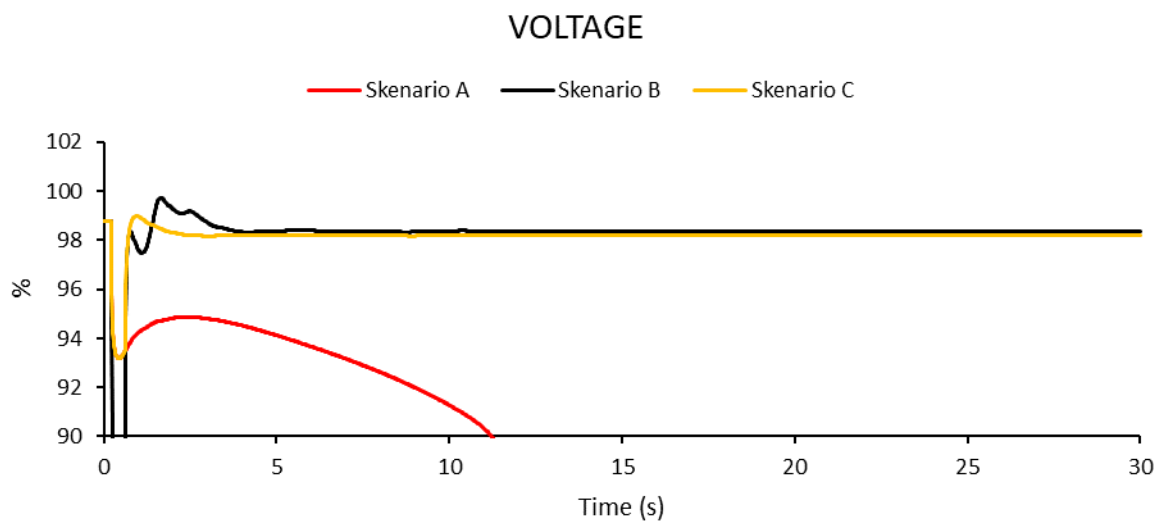


**Gambar 4. 29** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P3 Trip

#### 4.3.9.12 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P2 Off, Generator P1B Outage dari Sistem

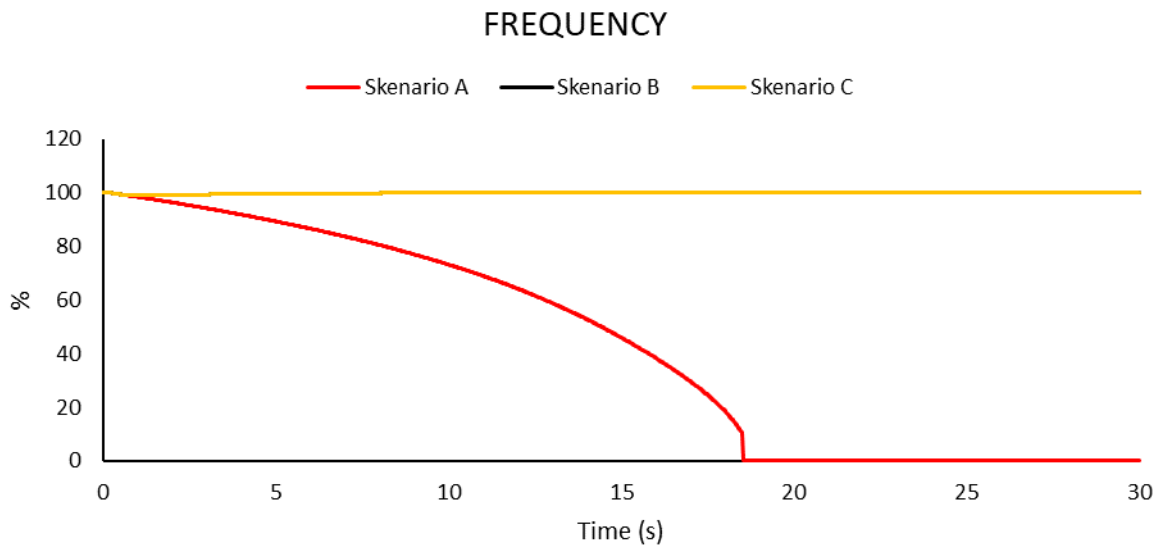


**Gambar 4. 30** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P1B Trip

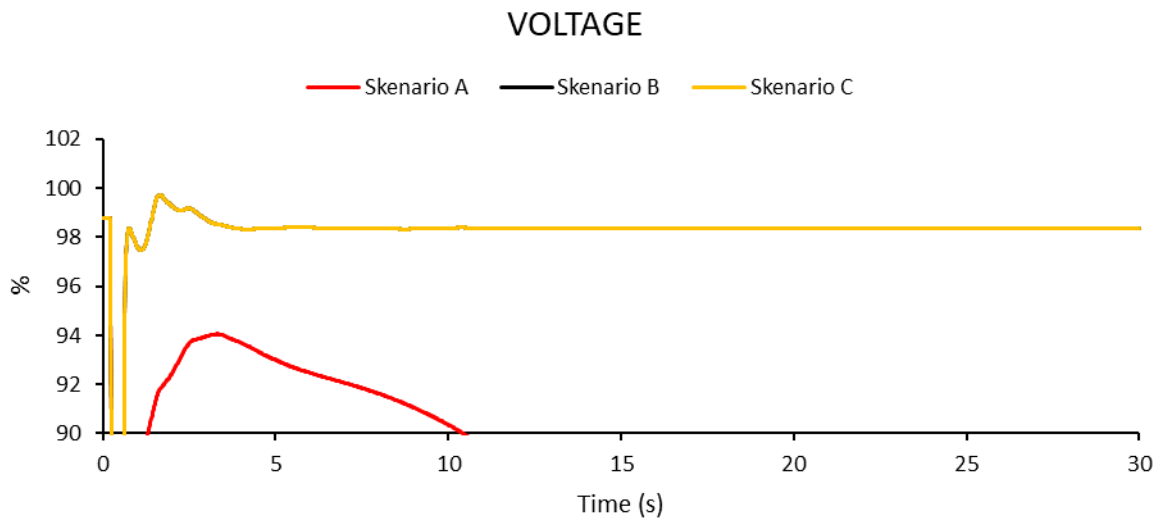


**Gambar 4. 31** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan P1B Trip

#### 4.3.9.13 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P2 Off, Generator STG Outage dari Sistem

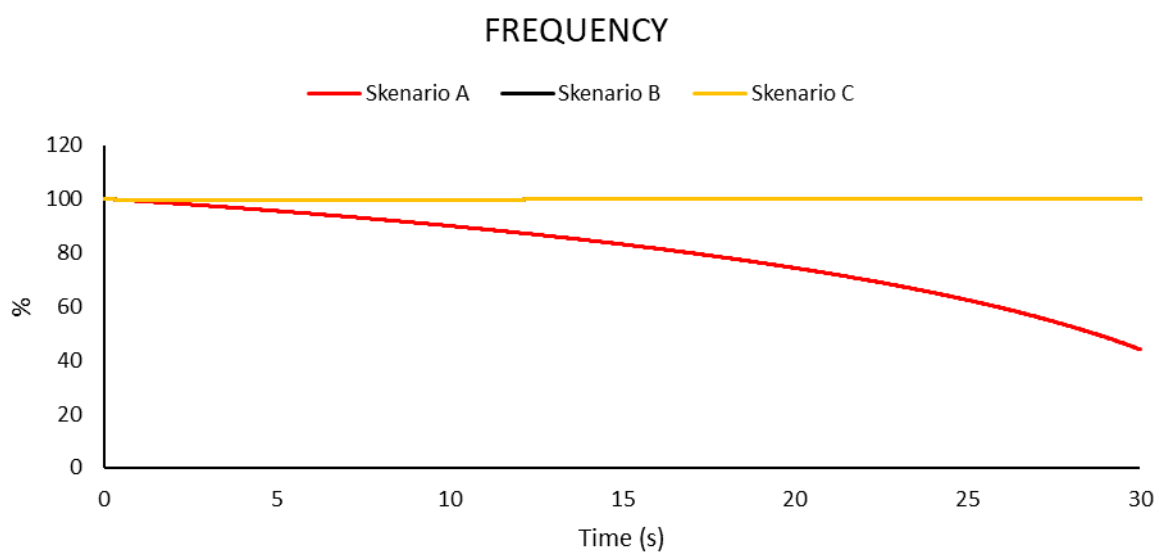


**Gambar 4. 32** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan STG Trip

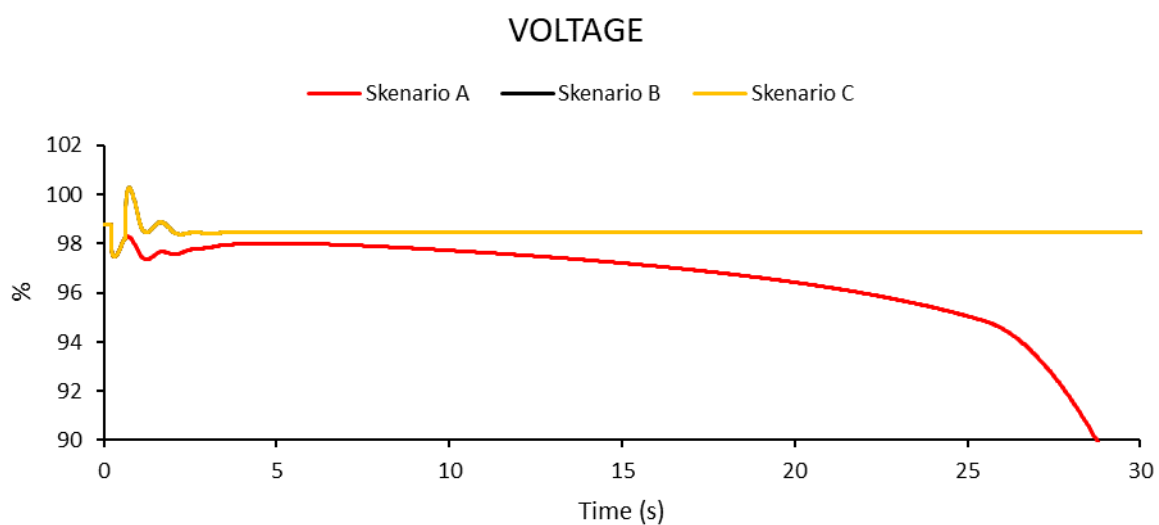


**Gambar 4. 33** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P2 Off dan STG Trip

#### 4.3.9.14 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P3 Off, Generator P2 Outage dari Sistem

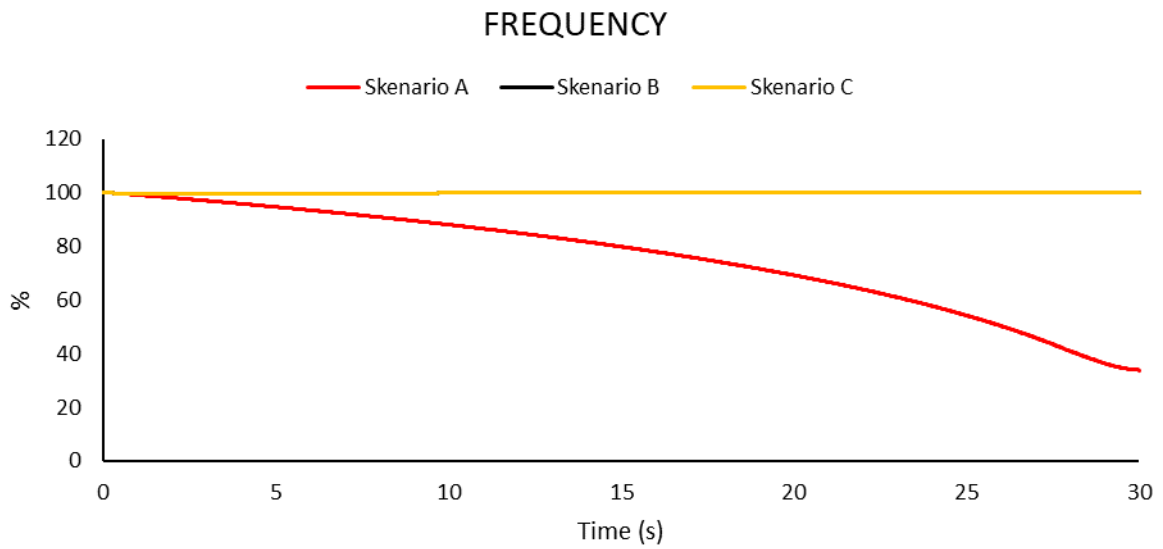


**Gambar 4. 34** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P2 Trip

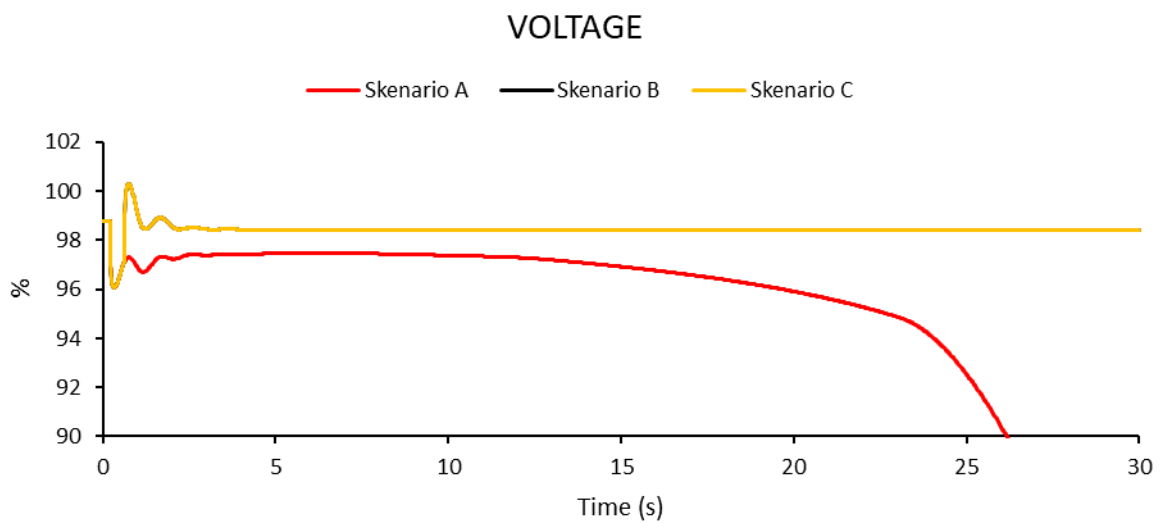


**Gambar 4. 35** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P2 Trip

#### 4.3.9.15 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P3 Off, Generator P4 Outage dari Sistem

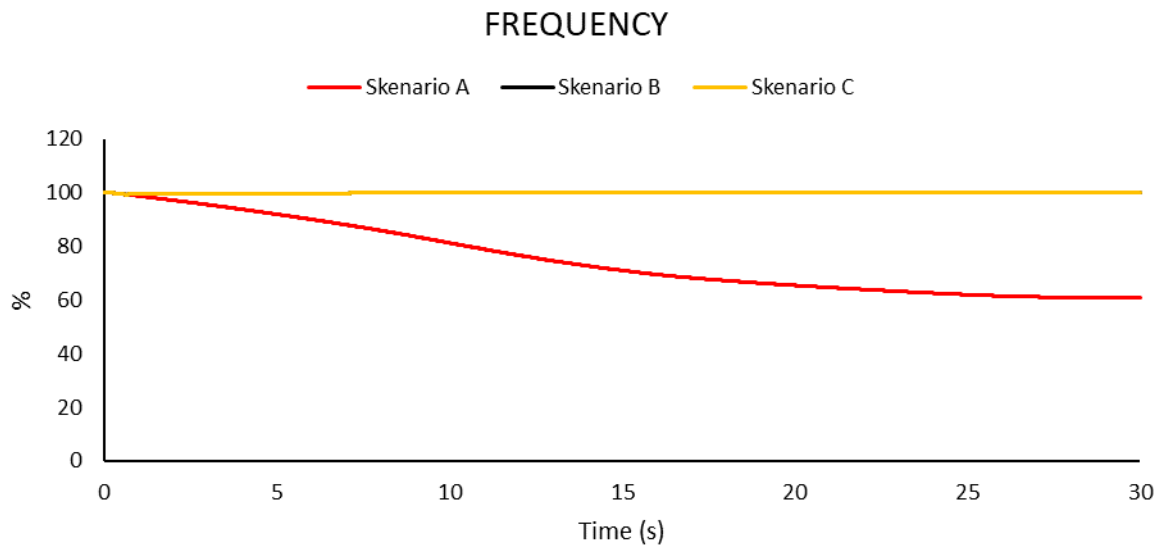


**Gambar 4. 36** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P4 Trip

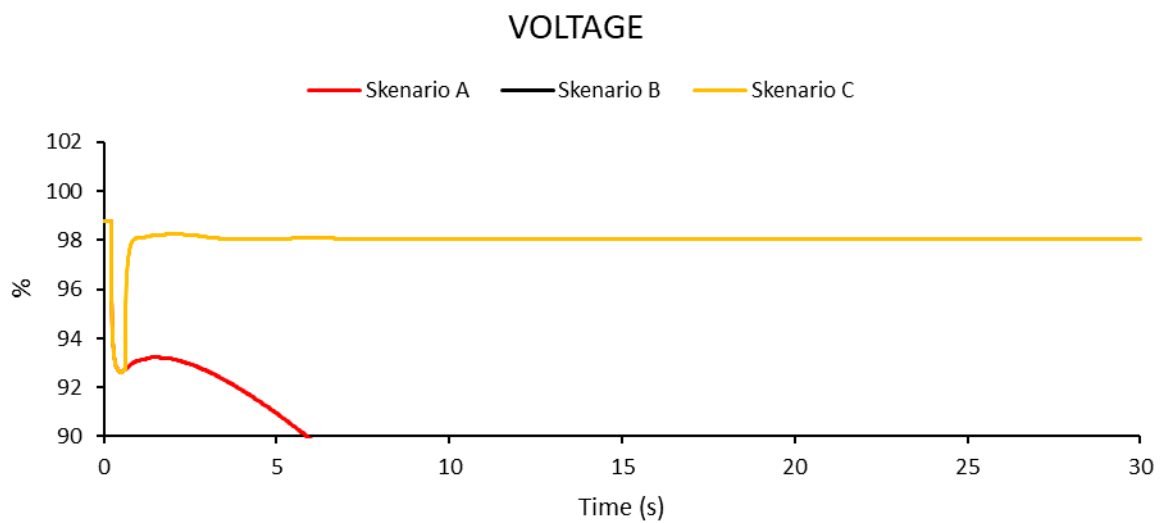


**Gambar 4. 37** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P4 Trip

#### 4.3.9.16 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P3 Off, Generator P1B Outage dari Sistem

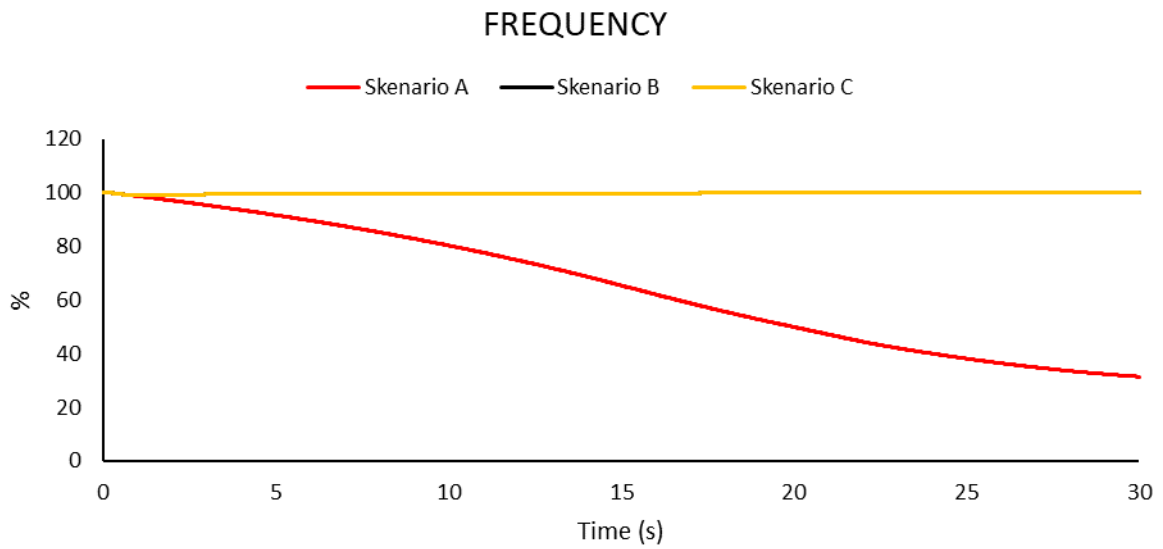


**Gambar 4. 38** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P1B Trip

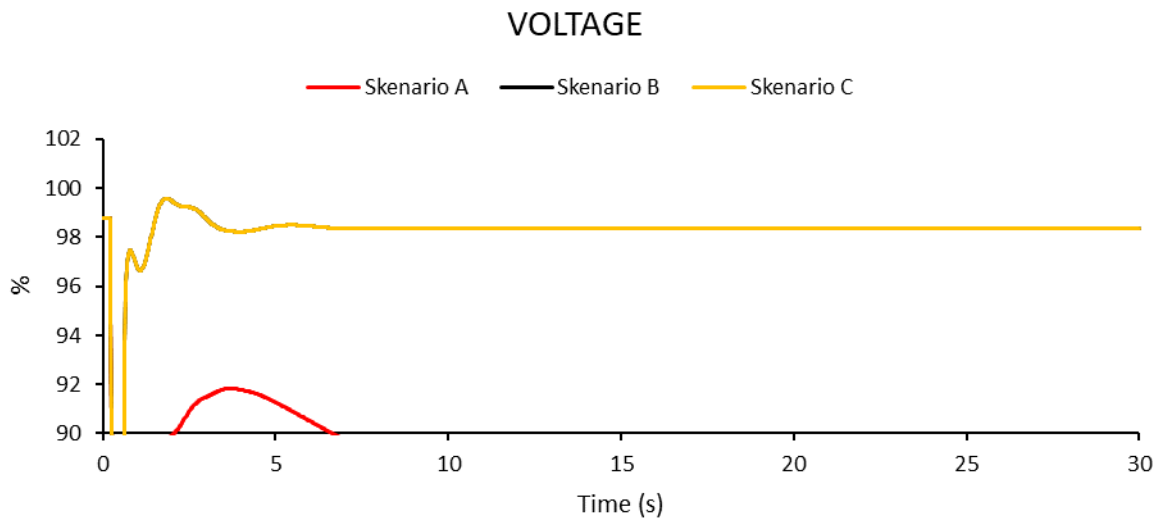


**Gambar 4. 39** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan P1B Trip

#### 4.3.9.17 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P3 Off, Generator STG Outage dari Sistem



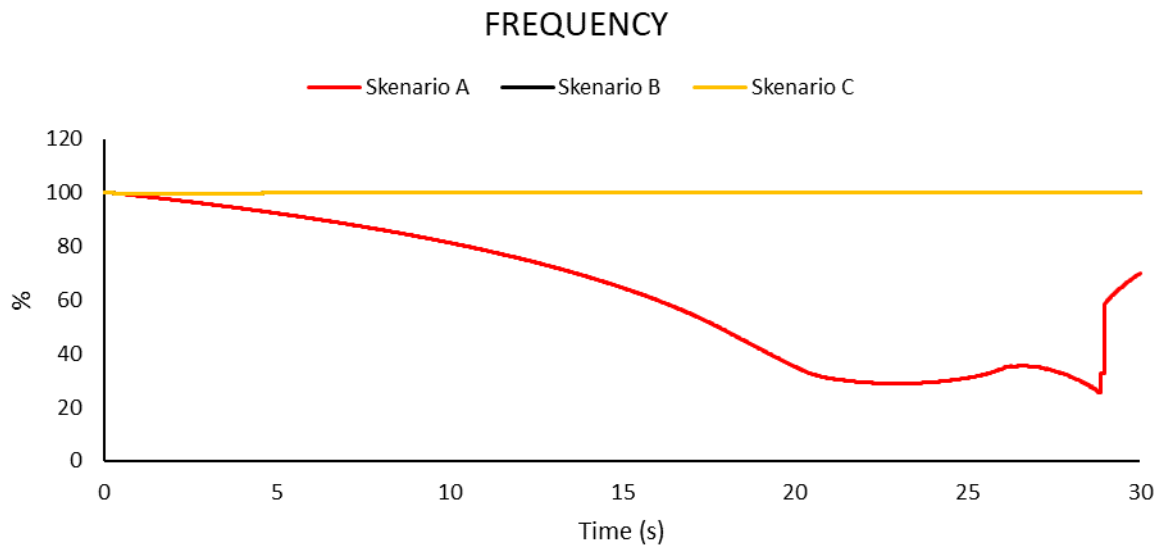
**Gambar 4. 40** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan STG Trip



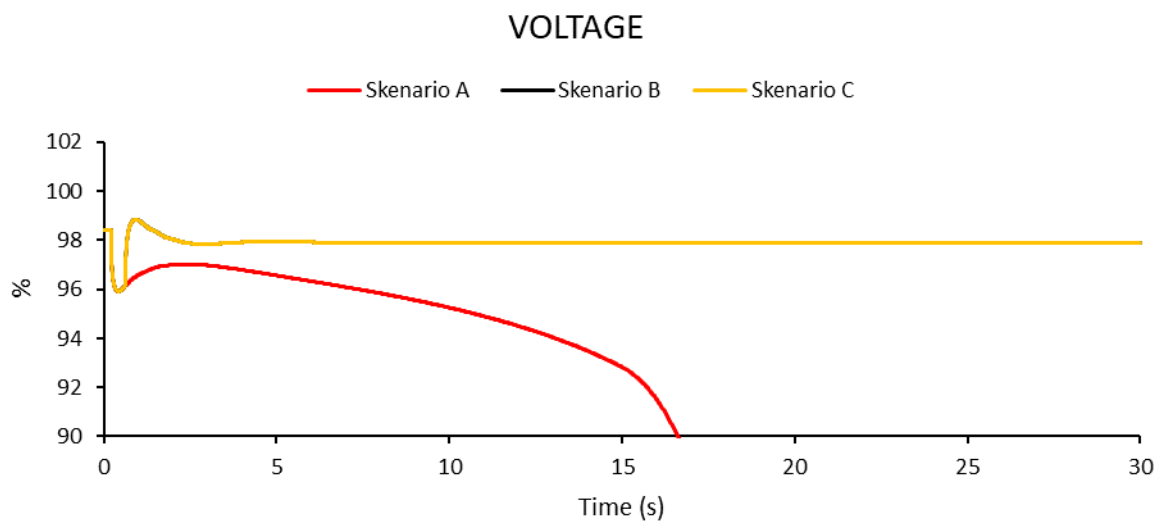
**Gambar 4. 41** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P3 Off dan STG Trip



#### 4.3.9.18 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P1B Off, Generator P2 Outage dari Sistem

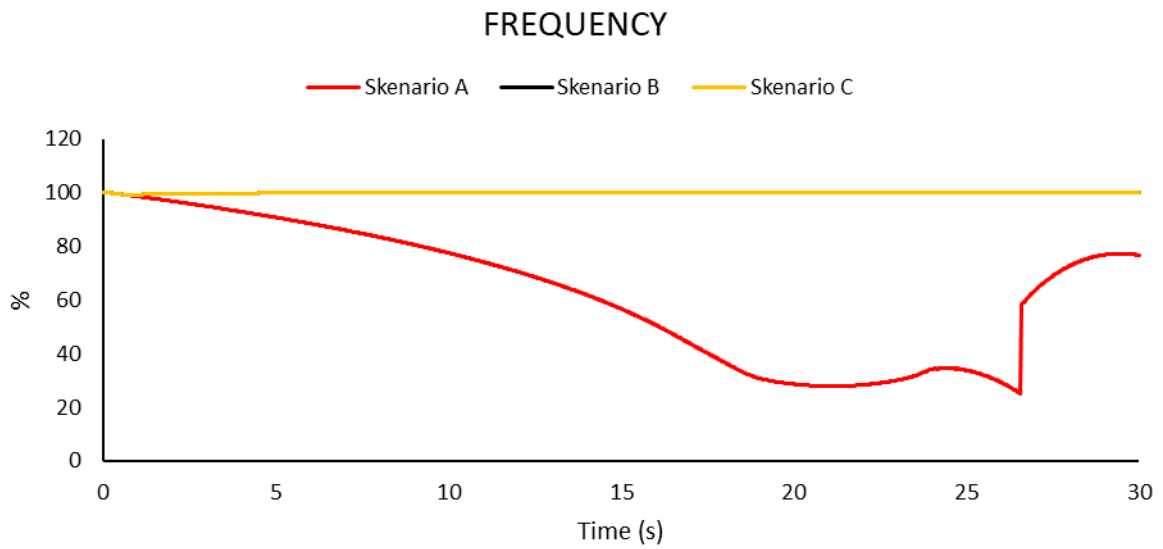


**Gambar 4. 42** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P2 Trip

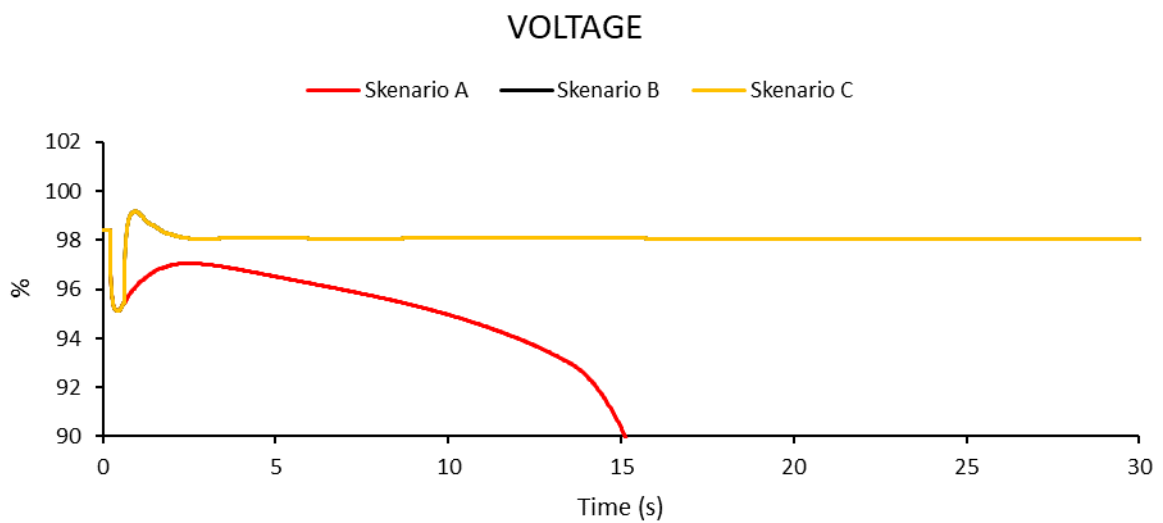


**Gambar 4. 43** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P2 Trip

#### 4.3.9.19 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P1B Off, Generator P4 Outage dari Sistem

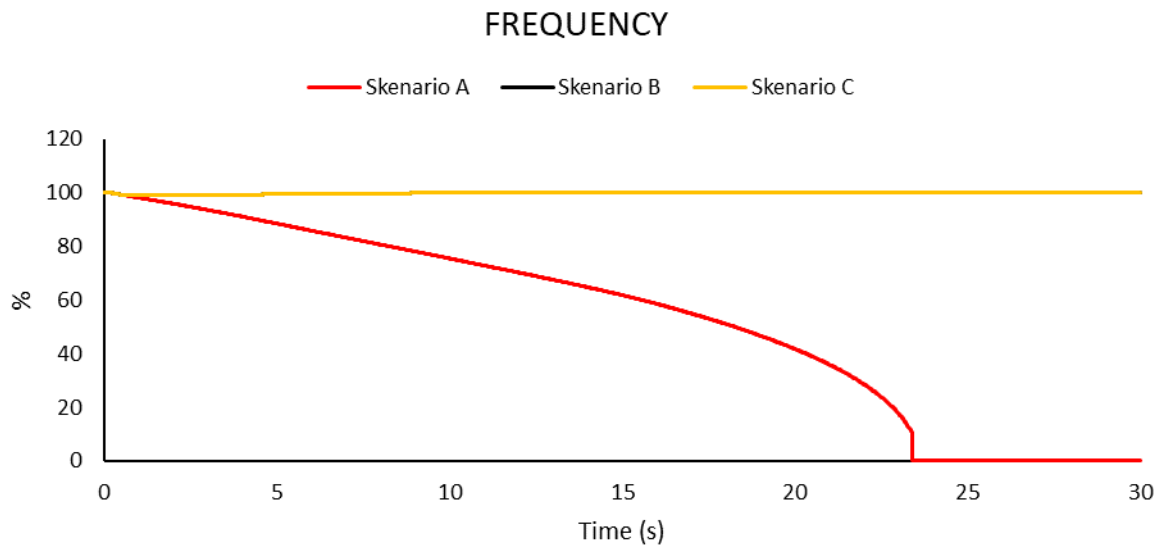


**Gambar 4. 44** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P4 Trip

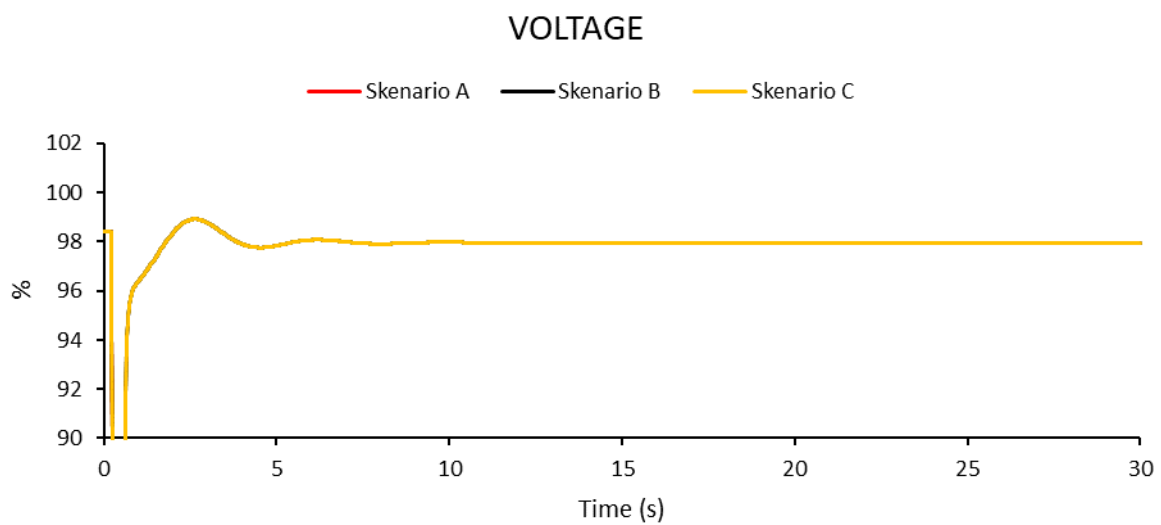


**Gambar 4. 45** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan P4 Trip

#### 4.3.9.20 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi P1B Off, Generator STG Outage dari Sistem

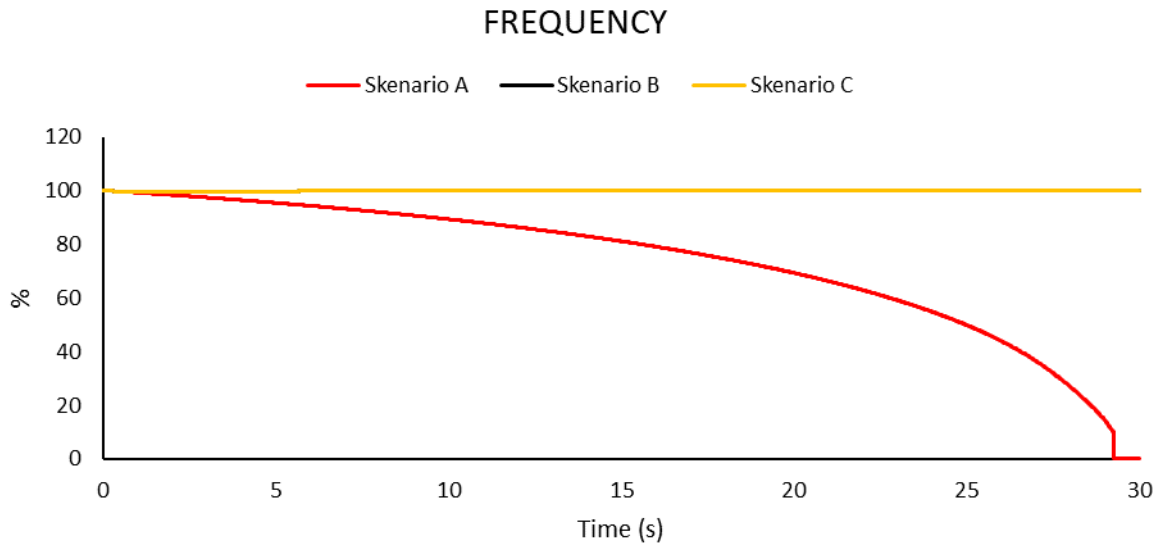


**Gambar 4. 46** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan STG Trip

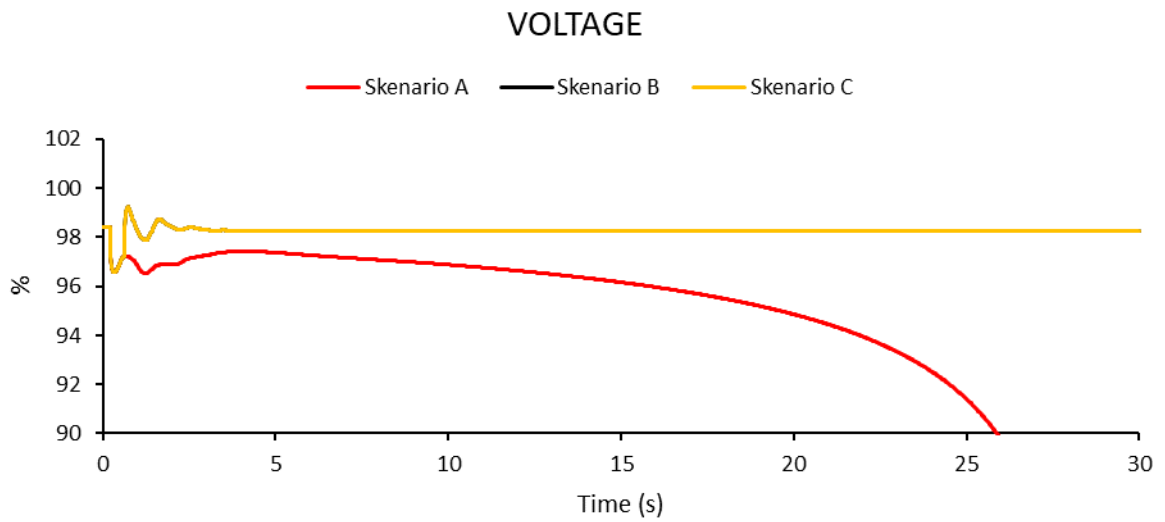


**Gambar 4. 47** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi P1B Off dan STG Trip

#### 4.3.9.21 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi STG Off, Generator P2 Outage dari Sistem

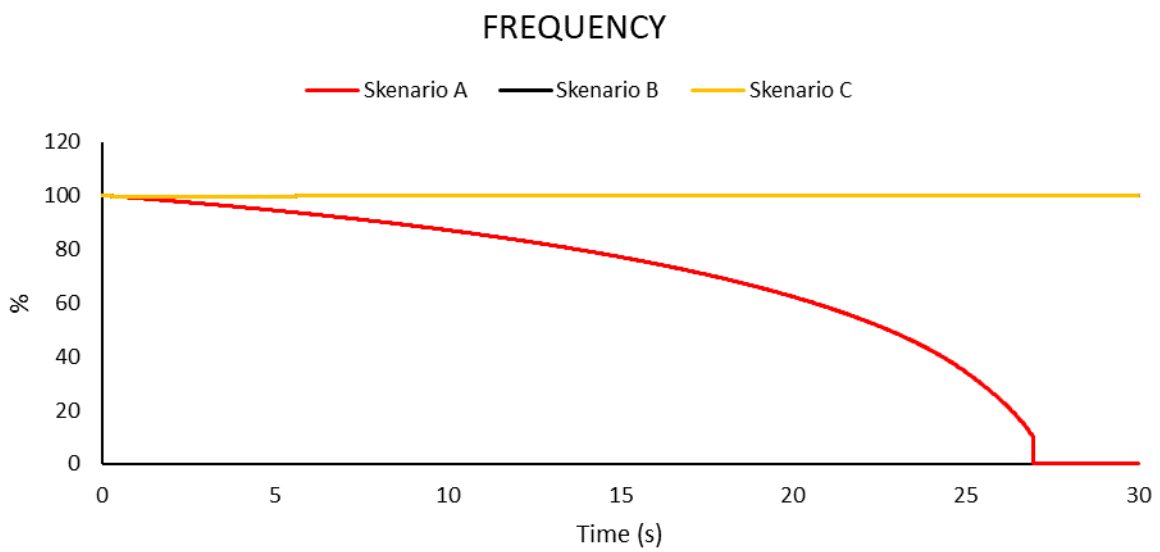


**Gambar 4. 48** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P2 Trip

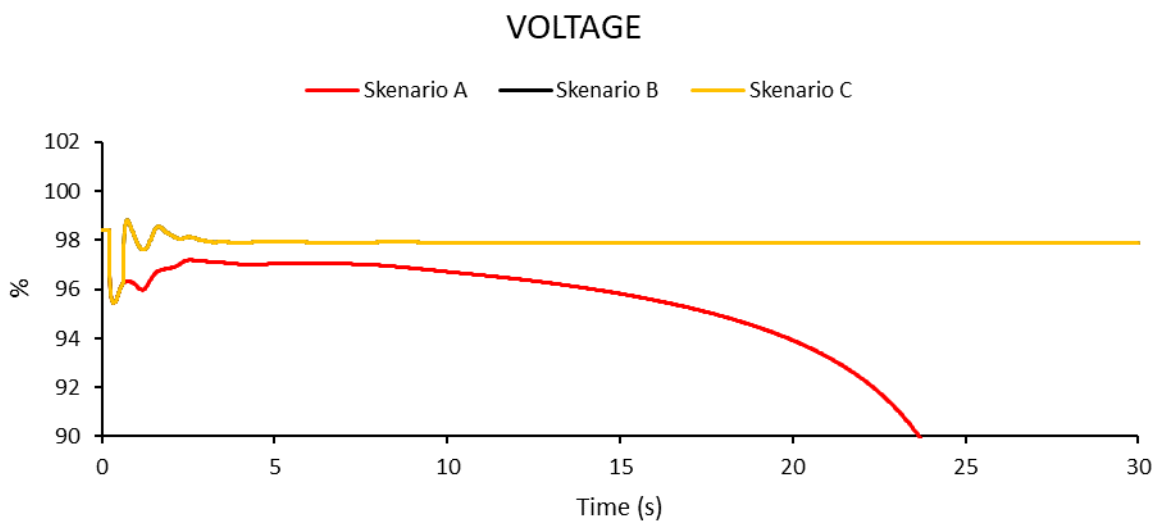


**Gambar 4. 49** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P2 Trip

### 4.3.9.22 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Operasi STG Off, Generator P4 Outage dari Sistem

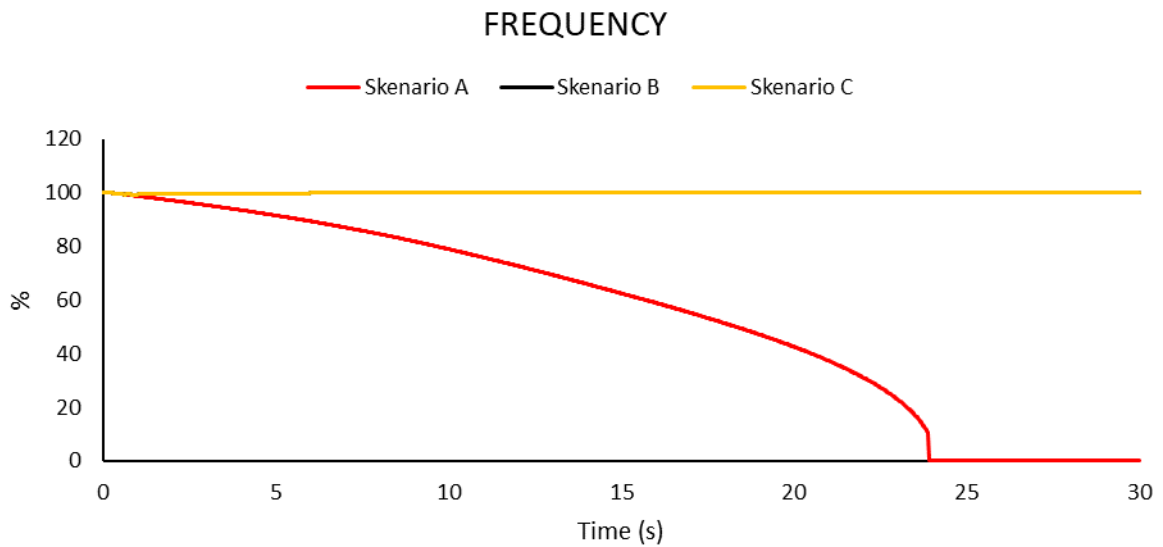


**Gambar 4. 50** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P4 Trip

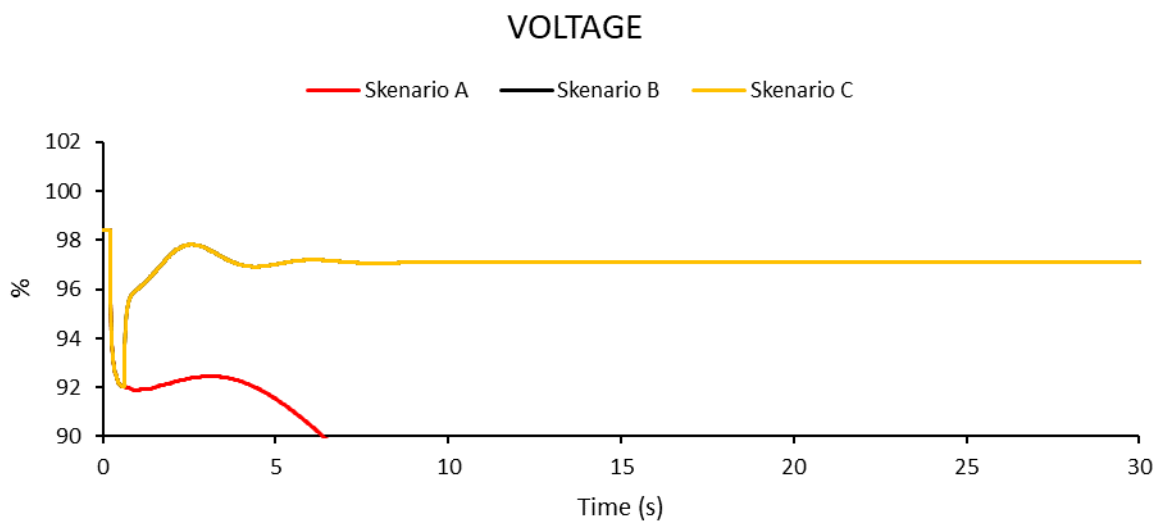


**Gambar 4. 51** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P4 Trip

### 4.3.9.23 Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Pola Operasi STG Off, Generator P1B Outage dari Sistem



**Gambar 4. 52** Perbandingan Frekuensi Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P1B Trip



**Gambar 4. 53** Perbandingan Tegangan Antar Skenario pada Pola Operasi STG Off dan P1B Trip

## 4.4 Analisis Hasil Simulasi Kestabilan Transien

Mengacu pada hasil simulasi kestabilan transien yang tercantum pada **Tabel 4. 6**, **Tabel 4. 8**, **Tabel 4. 10**, dan **Tabel 4. 12** dapat dilakukan analisis melalui beberapa aspek. Analisis awal dapat dilakukan dengan meninjau besaran kenaikan operasi generator pasca studi

kasus kegagalan yang terjadi di masing-masing generator. Mula-mula, sistem kelistrikan akan beroperasi dalam keadaan *load sharing* dimana jumlah generator yang beroperasi akan mempengaruhi besaran daya operasi di masing-masing generator. Untuk itu, ketika terjadi gangguan pada salah satu generator, maka generator lain harus melakukan *power ramp up* agar dapat memenuhi kebutuhan beban. Jika generator membutuhkan waktu yang terlalu lama dalam melakukan *ramp up*, maka sangat memungkinkan jika sistem akan mengalami *collapse* dimana frekuensi sistem dan tegangan akan turun yang apabila tidak dapat dihindarkan dapat membuat sistem *blackout*. Kemungkinan buruk lainnya adalah generator akan terlepas atau mengalami *accidental tripping* akibat permasalahan pada *fuel control*. Karenanya, untuk meminimalisir besaran *ramp up* generator, dibutuhkanlah sebuah pelepasan beban atau *load shedding*.

Untuk melakukan validasi terhadap hasil simulasi yang telah dilakukan pada **Tabel 4. 6**, **Tabel 4. 8**, **Tabel 4. 10**, dan **Tabel 4. 12**, maka perlu dilakukan pengamatan pula terhadap besaran *ramp up* masing-masing generator. Persentase *ramp up* generator dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Generator ramp up (\%)} = \frac{Pm_{post\ fault}}{Pm_{pre\ fault}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Nilai persentase *power ramp up* generator dapat dilihat pada **Tabel 4. 14**, **Tabel 4. 15**, dan **Tabel 4. 16** dengan menjalankan Skenario B, Skenario C, dan Skenario D. Nilai ini akan menjadi salah satu parameter krusial pula dalam menentukan kewajaran respon generator dan kelayakan *load shedding* yang dilakukan untuk masing-masing skema.

**Tabel 4. 14** Pengamatan Respon Generator dengan *Load Shedding* Eksisting Metode Status (Skenario B)

Skema	Before (Pre-Fault)							Trip ID	After (Post-Fault)										
	Count Gen	STG (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P1B (MW)	System Load (MW)		STG (MW)	STG (%)	P2 (MW)	P2 (%)	P3 (MW)	P3 (%)	P4 (MW)	P4 (%)	P1B (MW)	P1B (%)	System Load (MW)
1	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2	22.80	99.13	0.00	0.00	10.80	98.99	10.80	98.99	13.40	97.81	57.80
2	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3	22.80	99.13	9.00	98.90	0.00	0.00	10.80	98.99	13.40	97.81	56.00
3	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P1B	22.90	99.57	9.30	102.20	11.10	101.74	11.10	101.74	0.00	0.00	54.40
4	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG	0.00	0.00	8.90	97.80	10.70	98.08	10.70	98.08	13.20	96.35	43.50
5	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2 + P3	22.90	99.57	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	100.82	13.60	99.27	47.50
6	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2 + P1B	22.90	99.57	0.00	0.00	11.50	105.41	11.50	105.41	0.00	0.00	45.90
7	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG + P2	0.00	0.00	0.00	0.00	10.60	97.16	10.60	97.16	13.10	95.62	34.30
8	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3 + P4	22.90	99.57	9.10	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.40	97.81	45.40
9	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3 + P1B	22.90	99.57	9.60	105.49	0.00	0.00	11.40	104.49	0.00	0.00	43.90
10	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG + P3	0.00	0.00	8.80	96.70	0.00	0.00	10.60	97.16	13.10	95.62	32.50
11	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	P3	22.90	99.57	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	100.42	13.20	98.51	48.10
12	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	P1B	22.60	98.26	0.00	0.00	11.57	96.82	11.70	97.91	0.00	0.00	45.87
13	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	STG	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80	98.74	11.80	98.74	13.00	97.01	36.60
14	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	P2	22.90	99.57	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	99.58	13.80	100.00	48.60
15	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	P4	22.90	99.57	9.90	99.50	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70	99.28	46.50
16	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	P1B	22.70	98.70	9.70	97.49	0.00	0.00	11.70	97.91	0.00	0.00	44.10
17	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	STG	0.00	0.00	9.80	98.49	0.00	0.00	11.80	98.74	13.70	99.28	35.30
18	4	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.48	P2	22.80	99.13	0.00	0.00	11.90	99.58	11.20	96.72	0.00	0.00	45.90
19	4	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.48	P4	22.60	98.26	9.60	96.48	11.60	97.07	0.00	0.00	0.00	0.00	43.80
20	4	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.48	STG	0.00	0.00	9.80	98.49	11.80	98.74	11.20	96.72	0.00	0.00	32.80
21	4	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46	P2	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	100.42	12.00	100.42	13.40	98.46	37.40
22	4	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46	P4	0.00	0.00	9.90	99.50	11.90	99.58	0.00	0.00	13.30	97.72	35.10
23	4	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46	P1B	0.00	0.00	9.70	97.49	11.70	97.91	11.70	97.91	0.00	0.00	33.10



**Tabel 4. 15** Pengamatan Respon Generator dengan Load Shedding Rekomendasi Metode Status (Skenario C)

Skema	Before (Pre-Fault)							Trip ID	After (Post-Fault)										
	Count Gen	STG (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	PIB (MW)	System Load (MW)		STG (MW)	STG (%)	P2 (MW)	P2 (%)	P3 (MW)	P3 (%)	P4 (MW)	P4 (%)	PIB (MW)	PIB (%)	System Load (MW)
1	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2	22.90	99.57	0.00	0.00	11.70	107.24	11.70	107.24	13.90	101.46	60.20
2	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3	22.90	99.57	9.70	106.59	0.00	0.00	11.50	105.41	13.90	101.46	58.00
3	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	PIB	22.90	99.57	10.00	109.89	11.80	108.16	11.80	108.16	0.00	0.00	56.50
4	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG	0.00	0.00	9.80	107.69	11.60	106.32	11.60	106.32	13.90	101.46	46.90
5	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2 + P3	22.90	99.57	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	109.07	13.80	100.73	48.60
6	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2 + PIB	22.90	99.57	0.00	0.00	11.70	107.24	11.70	107.24	0.00	0.00	46.30
7	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG + P2	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	109.07	11.80	108.16	13.60	99.27	37.30
8	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3 + P4	22.90	99.57	9.90	108.79	0.00	0.00	0.00	0.00	13.80	100.73	46.60
9	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3 + PIB	22.90	99.57	9.80	107.69	0.00	0.00	11.80	108.16	0.00	0.00	44.50
10	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG + P3	0.00	0.00	9.70	106.59	0.00	0.00	11.50	105.41	13.90	101.46	35.10
11	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	P3	22.9	99.57	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	100.42	13.20	98.51	48.10
12	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	PIB	22.6	98.26	0.00	0.00	11.70	97.91	11.70	97.91	0.00	0.00	46.00
13	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	STG	0	0.00	0.00	0.00	11.80	98.74	11.80	98.74	13.00	97.01	36.60
14	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	P2	22.9	99.57	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	99.58	13.80	100.00	48.60
15	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	P4	22.9	99.57	9.90	99.50	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70	99.28	46.50
16	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	PIB	22.7	98.70	9.70	97.49	0.00	0.00	11.70	97.91	0.00	0.00	44.10
17	4	23.00	9.95	0.00	11.95	13.80	58.70	STG	0	0.00	9.80	98.49	0.00	0.00	11.80	98.74	13.70	99.28	35.20
18	4	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.48	P2	22.80	99.13	0.00	0.00	11.90	99.58	11.20	96.72	0.00	0.00	45.90
19	4	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.48	P4	22.60	98.26	9.60	96.48	11.60	97.07	0.00	0.00	0.00	0.00	43.80
20	4	23.00	9.95	11.95	11.58	0.00	56.48	STG	0.00	0.00	9.80	98.49	11.80	98.74	11.80	101.90	0.00	0.00	33.40
21	4	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46	P2	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	100.42	12.00	100.42	13.40	98.46	37.40
22	4	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46	P4	0.00	0.00	9.90	99.50	11.90	99.58	0.00	0.00	13.30	97.72	35.10
23	4	0.00	9.95	11.95	11.95	13.61	47.46	PIB	0.00	0.00	9.70	97.49	11.70	97.91	11.70	97.91	0.00	0.00	33.10

**Tabel 4. 16** Pengamatan Respon Generator dengan Load Shedding Metode Frekuensi (Skenario D)

Skema	Before (Pre-Fault)							Trip ID	After (Post-Fault)										
	Count Gen	STG (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	PIB (MW)	System Load (MW)		STG (MW)	STG (%)	P2 (MW)	P2 (%)	P3 (MW)	P3 (%)	P4 (MW)	P4 (%)	PIB (MW)	PIB (%)	System Load (MW)
1	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P2	22.90	99.57	0.00	0.00	11.60	106.32	11.60	106.32	13.90	101.46	60.00
2	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	P3	21.80	94.78	9.00	87.91	0.00	0.00	9.80	89.83	12.10	88.32	41.90
3	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	PIB	22.30	96.96	8.40	92.31	10.30	94.41	10.30	94.41	0.00	0.00	41.00
4	5	23.00	9.10	10.91	10.91	13.70	67.62	STG	0.00	0.00	9.30	102.20	11.10	101.74	11.10	101.74	13.70	100.00	45.20
11	4	23.00	0.00	11.95	11.95	13.40	60.30	P3	21.90	95.217	0.00	0.00	0.00	0.00	11	92.05	12	89.552	33.90

Dari hasil yang diperoleh dapat diamati bahwa nilai daya luaran yang berupa resultan torsi serta putaran rotor yang umumnya disebut dengan daya mekanik generator ( $P_m$ ) serta pembebanan atau daya elektrik ( $P_e$ ). Ketika dalam kondisi normal maka nilai  $P_e = P_m$  sehingga frekuensi sistem dipastikan berada dalam keadaan stabil. Jika terjadi ketidakseimbangan antara nilai  $P_m$  dan  $P_e$ , hal tersebut akan menyebabkan frekuensi sistem

mengalami fluktuasi. Ketika nilai  $P_e < P_m$ , maka frekuensi sistem akan mengalami kenaikan begitupula sebaliknya, jika  $P_e > P_m$  maka frekuensi sistem akan mengalami penurunan. Saat terjadi fluktuasi frekuensi, generator akan berupaya mempertahankan kestabilannya, sehingga saat adanya penyesuaian nilai  $P_e$  dan  $P_m$  seringkali terjadi osilasi pada frekuensi yang sangat bergantung terhadap *setting* governor yang dimiliki masing-masing generator.

Dengan metode pelepasan beban yang sama yakni metode status, *load shedding* rekomendasi pada Skenario C memiliki nilai *ramp up* generator yang lebih tinggi dibandingkan dengan *load shedding* eksisting karena adanya pengaruh nilai total daya *load shedding* rekomendasi yang lebih kecil dibandingkan dengan *load shedding* eksisting. Pelepasan beban pada kondisi eksisting didesain sedemikian rupa agar generator tidak mengalami *ramp up* yang signifikan sehingga besaran beban yang hilang ketika generator *failure* bernilai sama dengan *load* yang mengalami *shedding*. Kemampuan generator untuk melakukan *ramp up* adalah hingga 10%-14%. Dengan demikian, masih terdapat potensi untuk mengurangi nilai beban yang dilepaskan namun tetap menjaga kestabilan sistem.

Keunggulan melakukan *load shedding* menggunakan metode status dibandingkan dengan metode frekuensi dapat dilihat dari nilai *ramp down* generator yang dimiliki ketika menjalankan Skenario D. Dimana, walaupun *load shedding* frekuensi dengan tiga langkah pelepasan beban memiliki kuantum *load shedding* yang lebih besar dibandingkan metode status baik yang eksisting maupun rekomendasi metode ini tidak lebih unggul karena memiliki nilai daya yang lebih rendah.

#### **4.4.1 Perbandingan Total Actual Load Load Shedding Eksisting dan Rekomendasi**

Mengacu pada hasil simulasi Skenario B dan Skenario C pada **Tabel 4. 8** dan **Tabel 4. 10**, dapat diketahui bahwa skema *load shedding* eksisting yang telah dimiliki oleh PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki kuantum pelepasan daya yang cukup besar karena harus menyesuaikan jumlah beban yang terlepas seperti yang tertera pada **Tabel 4. 17**. Pelepasan beban *load shedding* eksisting didasari oleh total pembangkitan dari generator yang mengalami *accidental tripping*. Pada dasarnya skema *load shedding* eksisting telah mampu menjaga kestabilan sistem. Namun, dari hasil simulasi pada Skenario C, masih terdapat potensi untuk meminimalisir pelepasan kuantum beban yang telah ada pada skenario *load shedding* eksisting yang sesuai dengan standar sehingga mampu memulihkan serta mengamankan sistem dan sistem masih dapat mengakomodasi kebutuhan beban yang esensial.

**Tabel 4. 17** Perbandingan Total *Actual Load* Pelepasan Beban Eksisting dan Rekomendasi

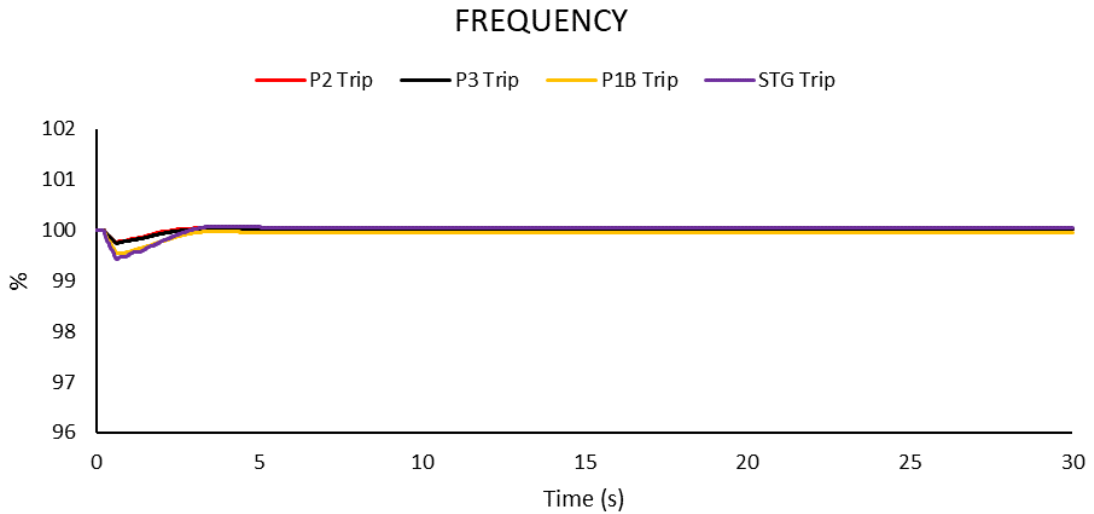
Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Gen Trip (MW)	Total LS Actual Load Eksisting (MW)	Total LS Actual Load Rekomendasi (MW)
1	Normal	P2	9,10	8,90	6,70
2		P3	10,91	10,70	8,60
3		P1B	12,68	12,70	10,80
4		STG	23,00	21,27	19,92
5		P2 & P3	20,01	19,70	18,60
6		P2 & P1B	21,78	21,40	21,00
7		STG & P2	32,10	32,32	30,12
8		P3 & P4	21,82	21,90	20,60
9		P3 & P1B	23,59	23,40	22,70
10		STG & P3	33,91	34,22	31,62
11	P2 Off	P3	11,95	11,90	11,90
12		P1B	14,00	14,10	14,10
13		STG	23,00	23,32	23,32
14	P3 Off	P2	9,95	10,00	10,00
15		P4	11,95	12,10	12,10
16		P1B	14,00	14,30	14,30
17		STG	23,00	23,32	23,32
18	P1B Off	P2	9,95	10,30	10,30
19		P4	11,95	12,40	12,40
20		STG	23,00	23,32	23,32
21	STG Off	P2	9,95	10,00	10,00
22		P4	11,95	11,90	11,90
23		P1B	14,00	13,80	13,80

Penentuan total kuantum *load shedding* rekomendasi dilakukan berdasarkan selisih antara total daya masing-masing generator pada kondisi inisial dengan total daya masing-masing generator setelah melakukan *ramp up* sebesar 10%.

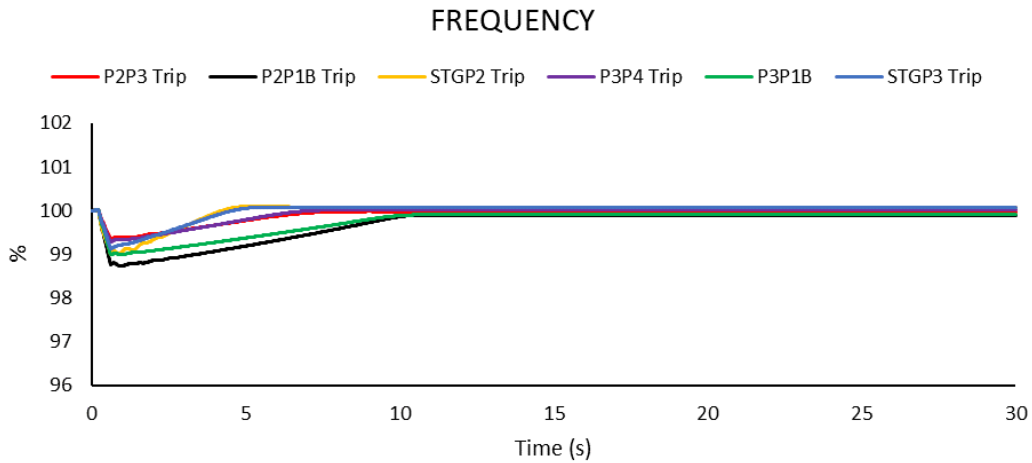
#### 4.4.2 Perbandingan *Load Shedding* Eksisting Metode Status (Skenario B) pada Pola Operasi Lima Generator

Pola operasi lima generator dalam Skenario B menggunakan 5 generator aktif yang beroperasi dalam kondisi inisial kemudian disusul terjadinya kegagalan pada generator yang mengharuskan sistem untuk melakukan mekanisme pelepasan beban agar sistem tidak kehilangan kestabilannya. Parameter yang akan diamati adalah frekuensi sistem, tegangan sistem, sudut rotor, serta daya mekanik dan daya elektrik pada masing-masing generator dengan analisis sebagai berikut:

#### 4.4.2.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 54** Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip



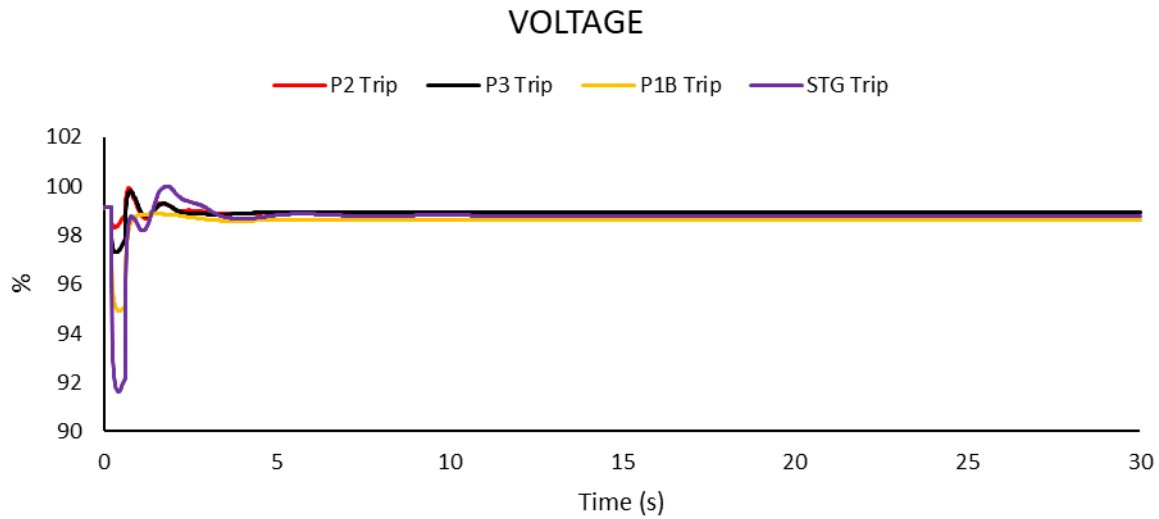
**Gambar 4. 55** Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip

Dari respon frekuensi yang diperoleh seperti pada **Gambar 4. 54** dan

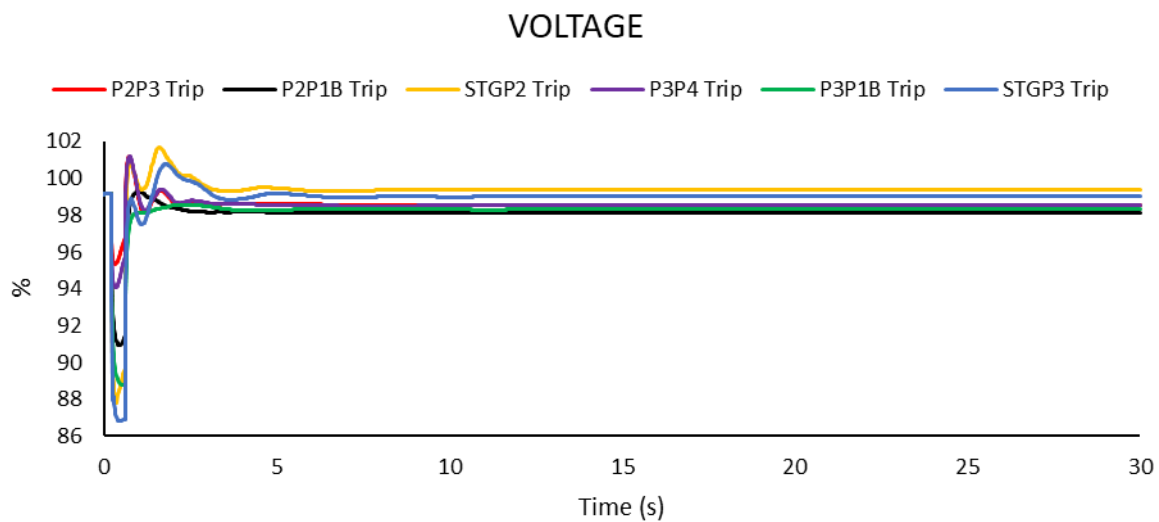
**Gambar 4. 55**, dapat diamati bahwa dalam studi kasus dengan pola operasi normal ketika mengalami 1 dan 2 generator *trip*, sistem kelistrikan masih dapat mempertahankan kestabilannya dengan melakukan *load shedding* eksisting metode status (Skenario B). Dari gambar dapat diketahui pula bahwa *load shedding* dengan Skenario B memiliki respon yang baik karena daya kuantum beban yang dilepaskan besarnya lebih dari sama dengan total daya generator yang *trip*. Sehingga masih dapat dilakukan perencanaan skema *load shedding* rekomendasi agar dapat mengurangi kuantum daya yang dilepaskan dengan

mempertimbangkan kestabilan frekuensi, tegangan, dan kemampuan dari masing-masing generator untuk melakukan *power ramp* sebesar 10%.

#### 4.4.2.2 Respon Tegangan



**Gambar 4. 56** Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip

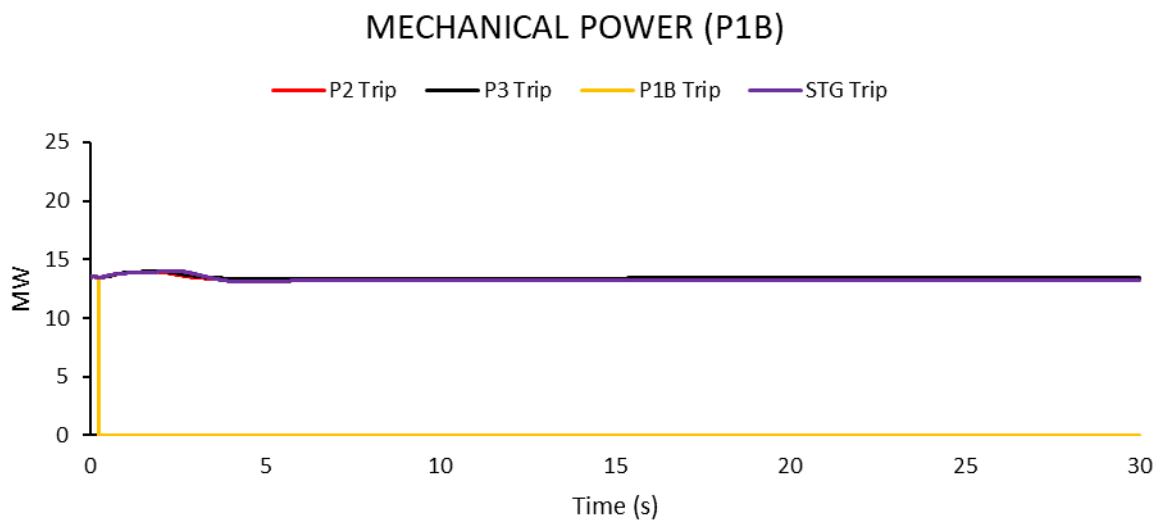


**Gambar 4. 57** Perbandingan Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip

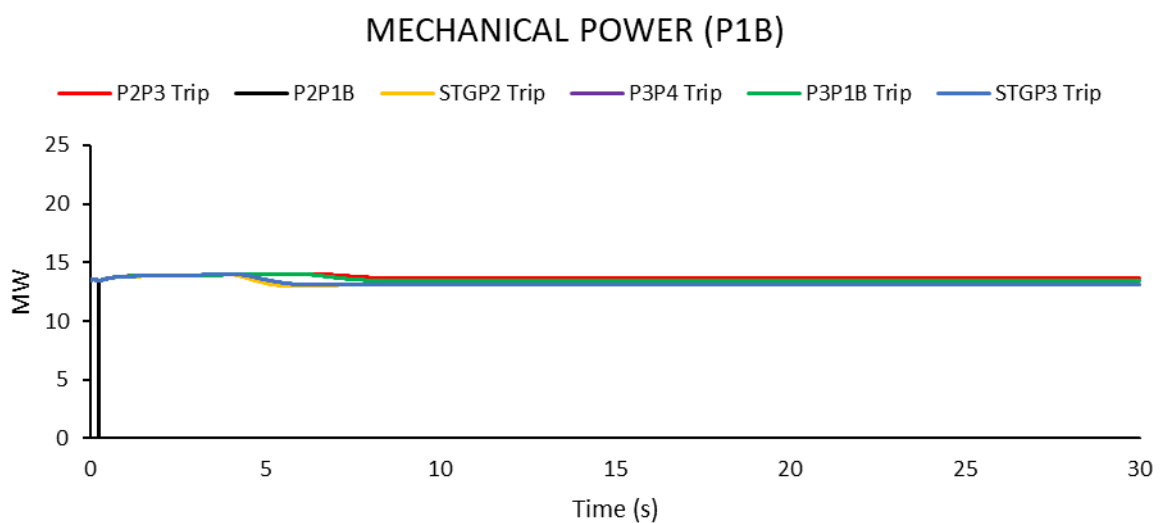
Seperti yang tertera pada **Gambar 4. 56** dan **Gambar 4. 57** dapat dilihat bahwa simulasi menunjukkan seluruh skema *load shedding* yang diterapkan pada masing-masing

kejadian memiliki respon tegangan yang berbeda-beda tergantung pada total daya generator yang mengalami *outage* disusul dengan mekanisme *load shedding* dari studi kasus yang dilakukan. Penurunan tegangan terbesar terjadi saat menjalankan skema *load shedding* sebanyak 2 generator trip dimana tegangan menunjukkan *drop point* terendah hingga dibawah 80% dengan kata lain sistem mengalami *voltage sags* sesaat berdasarkan standar IEEE 1195-1995 yang mengatur *Voltage Magnitude Event*.

#### 4.4.2.3 Respon Daya Mekanik



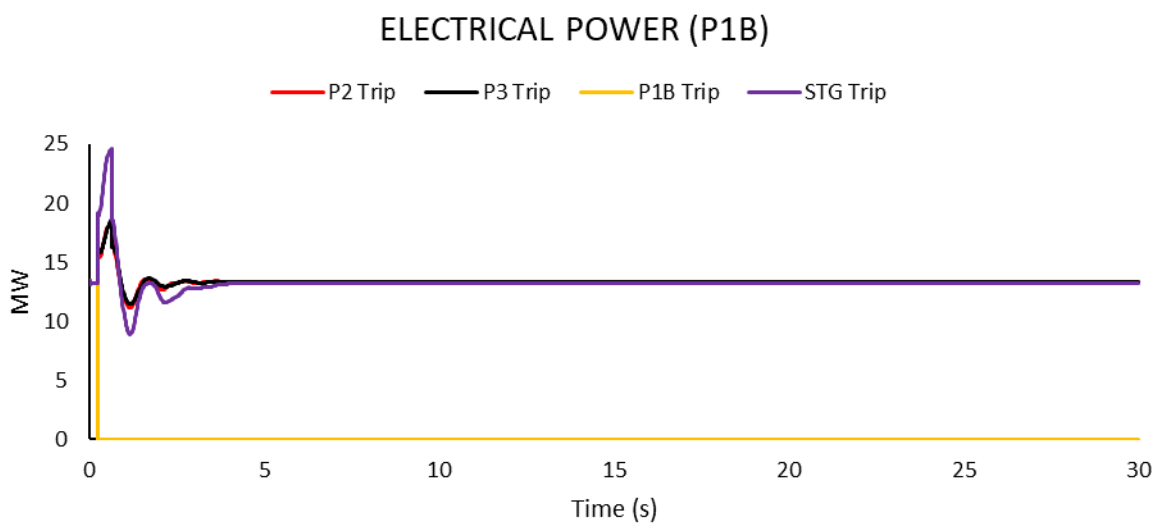
**Gambar 4. 58** Perbandingan Respon Daya Mekanik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip



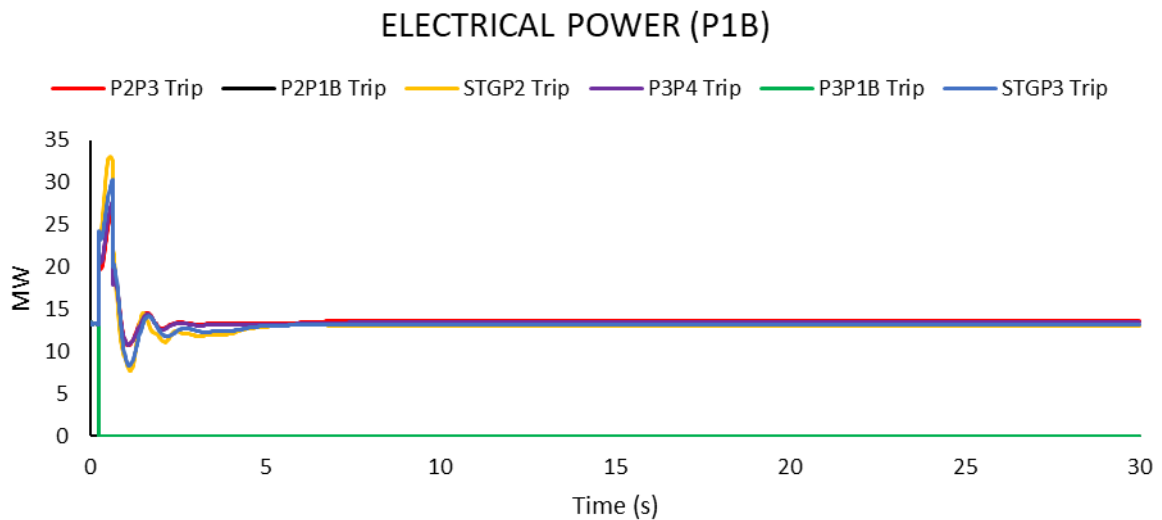
**Gambar 4. 59** Perbandingan Respon Daya Mekanik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip

Selain mengamati respon frekuensi dan tegangan, dapat diamati pula respon daya mekanik sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 58** dan **Gambar 4. 59**. Dari kedua gambar tersebut, kenaikan daya mekanik pada generator 5006-J yang berada di P1B tidak terlalu signifikan karena memiliki kuantum daya *load shedding* eksisting yang besar dalam sistem. Untuk itu, diperlukan skema *load shedding* rekomendasi agar dapat mengurangi daya pelepasan beban karena generator P1B masih berpotensi mampu melakukan *ramp up* sebesar 10%.

#### 4.4.2.4 Respon Daya Elektrik



**Gambar 4. 60** Perbandingan Respon Daya Elektrik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 1 Generator Trip



**Gambar 4. 61** Perbandingan Respon Daya Elektrik Generator P1B pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Eksisting ketika 2 Generator Trip

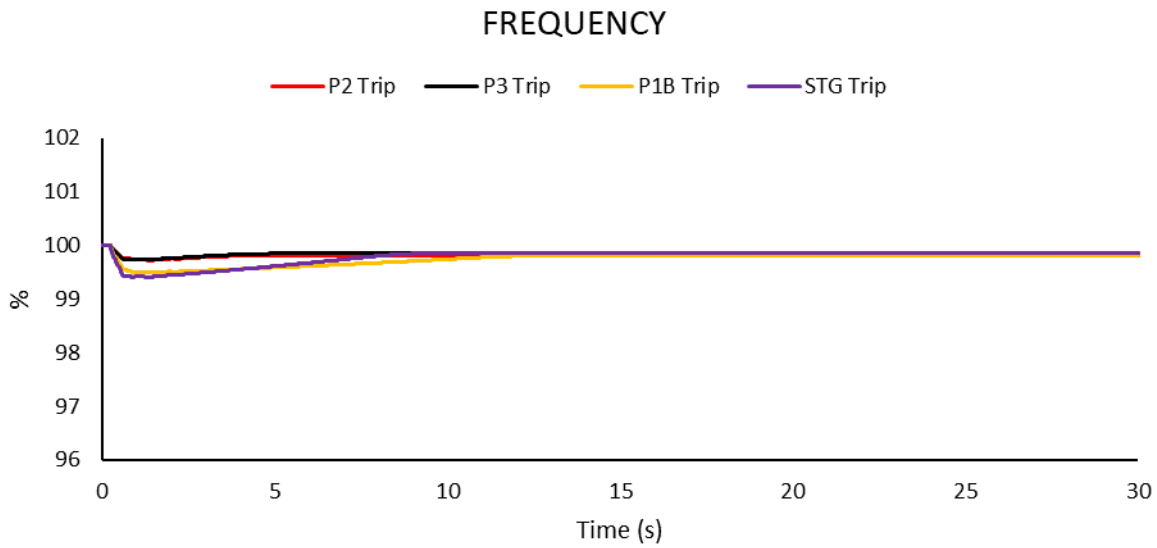
Dari perbandingan respon daya elektrik yang divisualisasikan dalam Gambar 4. 60 dan **Gambar 4. 61** diatas, generator 5006-J di P1B mengalami kenaikan *electrical power* yang cukup signifikan terutama saat terjadi gangguan *STG trip* dari sistem yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 60** dan gangguan untuk 2 generator STG & P2 trip yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 61**. Hal tersebut dikarenakan daya pada generator STG yang memiliki kontribusi yang cukup besar pada pembangkitan sistem yakni sekitar 35% dari total daya pembangkitan seluruh generator saat beroperasi.

#### 4.4.3 Perbandingan *Load Shedding* Rekomendasi Metode Status (Skenario C) pada Pola Operasi Lima Generator

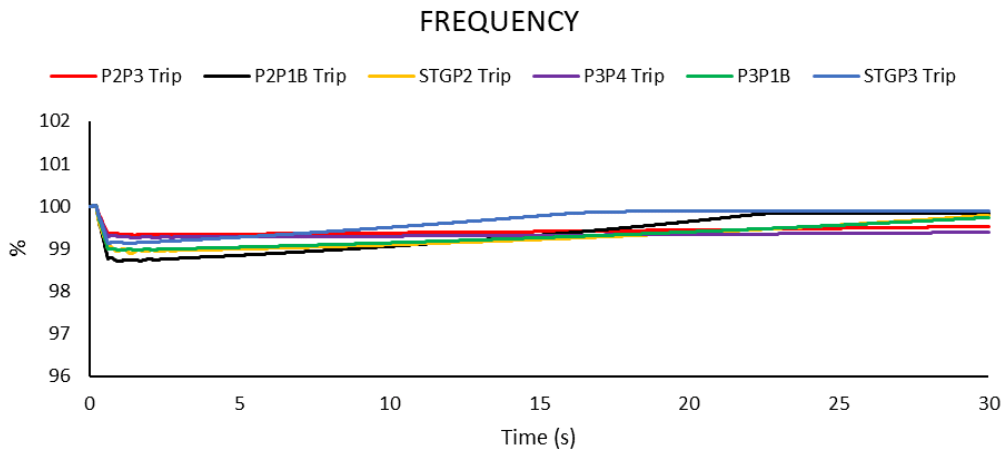
Skenario C yakni *load shedding* rekomendasi metode status dilakukan dengan maksud dan tujuan mengurangi total daya pelepasan beban kondisi eksisting yang sebelumnya telah dimiliki oleh PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Pengurangan kuantum beban tentu dengan memperhatikan dan mempertimbangkan regulasi frekuensi, tegangan, sudut rotor, dan kenaikan daya pada masing-masing generator. Skenario pada pola operasi normal memiliki *initial condition* 5 generator beroperasi yang kemudian disusul studi kasus kegagalan pada generator yang menyebabkan sistem harus melakukan pelepasan beban dengan skema pola operasi normal yang telah ditentukan seperti yang tertera pada **Tabel 4. 4**. Berikut ini merupakan hasil analisis dari respon parameter yang digunakan:



#### 4.4.3.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 62** Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip

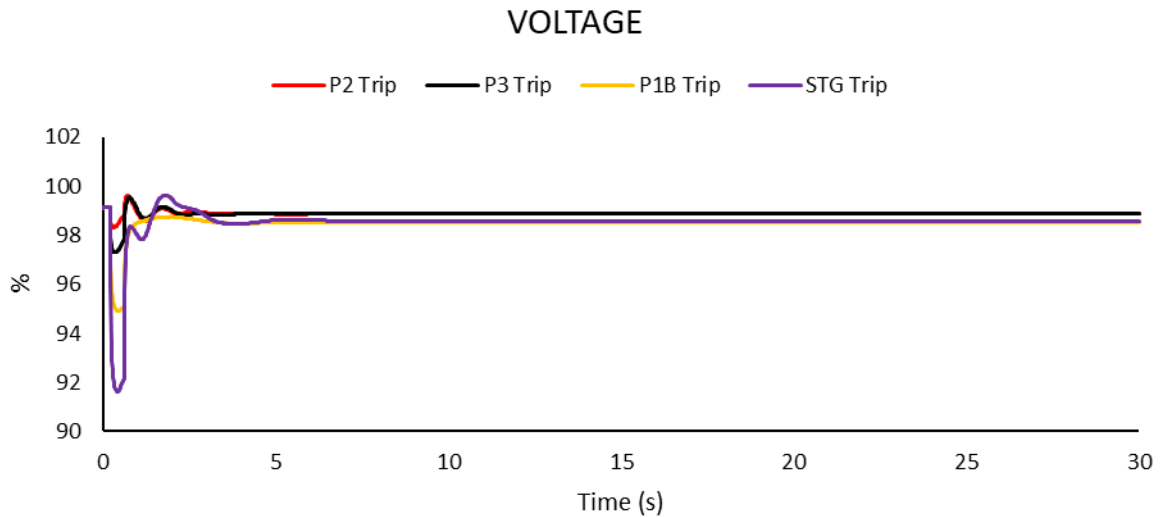


**Gambar 4. 63** Perbandingan Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip

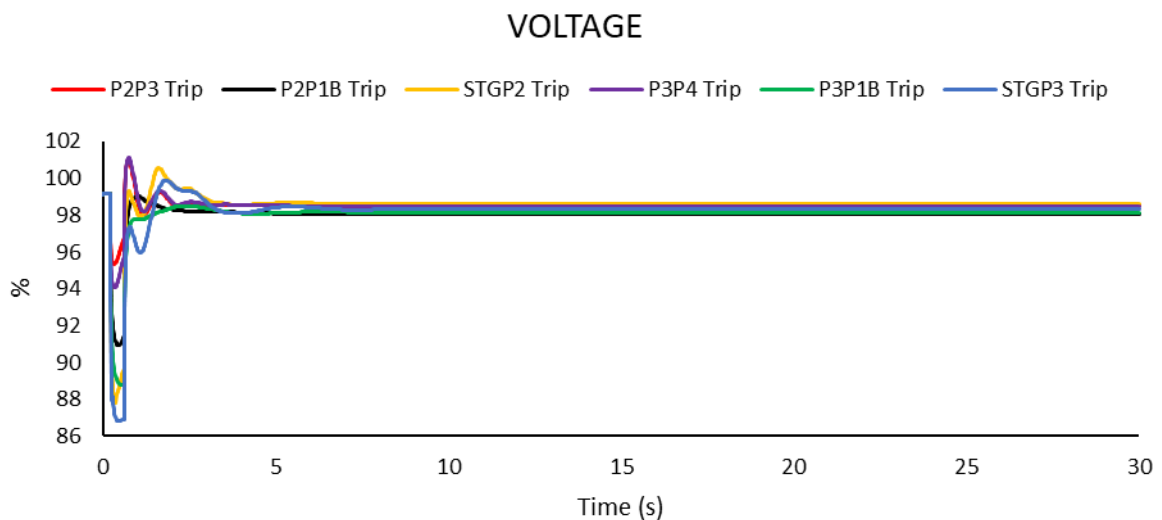
Berdasarkan pengamatan pada **Gambar 4. 62** dan **Gambar 4. 63**, dapat diamati bahwa dalam studi kasus dengan pola operasi normal ketika mengalami 1 dan 2 generator *trip*, sistem kelistrikan masih dapat mempertahankan kestabilannya dengan melakukan *load shedding* rekomendasi metode status (Skenario C). Selain itu dapat diketahui bahwa *load shedding* dengan CB status rekomendasi memiliki respon frekuensi yang baik pula dan masih berada pada range frekuensi yang diizinkan pada standar. Walaupun jika dibandingkan dengan *load shedding metode status* eksistingnya, respon nilai *steady state* dari *load shedding* rekomendasi

berada sedikit dibawahnya, sistem kelistrikan masih dapat beroperasi dalam batas standar frekuensi kontinyu.

#### 4.4.3.2 Respon Tegangan



**Gambar 4. 64** Perbandingan Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip

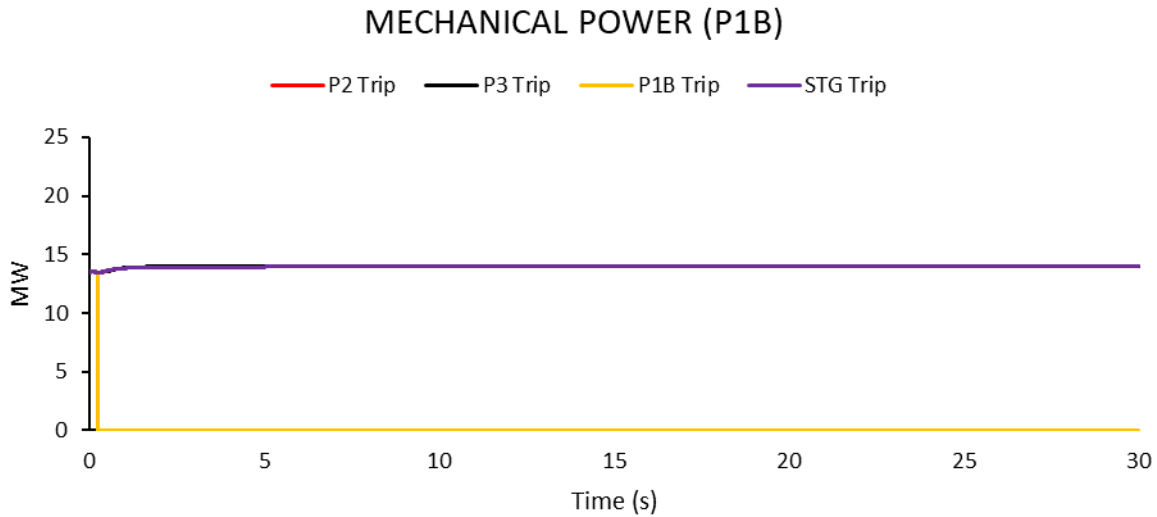


**Gambar 4. 65** Perbandingan Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip

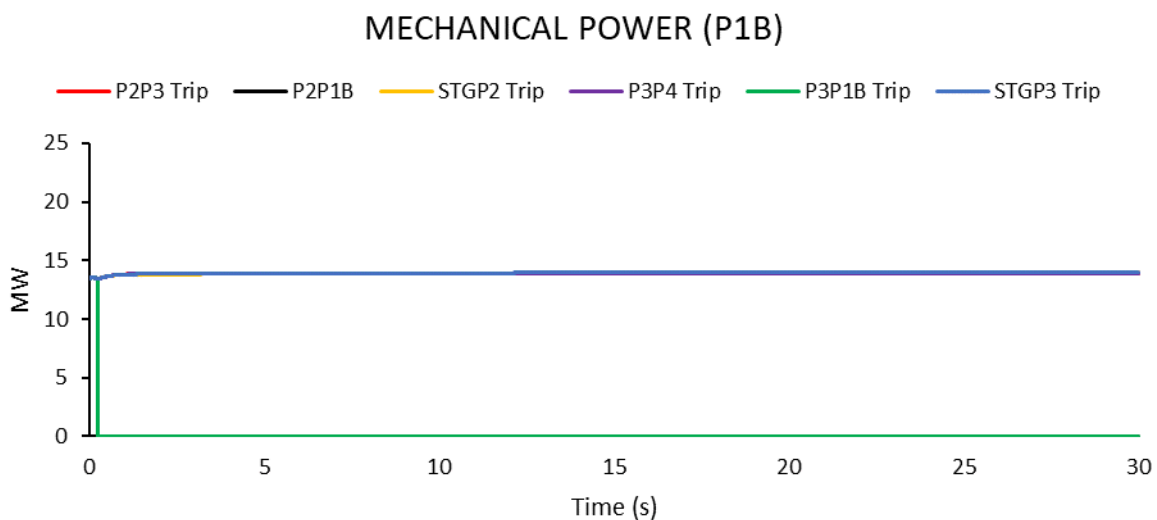
Dari respon tegangan yang teracantum pada **Gambar 4. 64** dan **Gambar 4. 65**, dapat diketahui bahwa baik dalam kondisi 1 generator trip maupun 2 generator trip, terlepasnya

generator STG sangat mempengaruhi besar tegangan terhadap sistem. Kondisi tegangan saat 1 generator *trip* masih berada dalam batas normal operasi tegangan yang diizinkan, namun ketika sistem mengalami 2 generator trip terdapat tiga skema generator trip yang menyentuh tegangan dibawah 90% atau mengalami *voltage sags* sesaat. Ketiga skema tersebut adalah kondisi saat STG & P2 *trip*, P3 dan P1B *trip*, serta STG & P3 *trip*.

#### 4.4.3.3 Respon Daya Mekanik



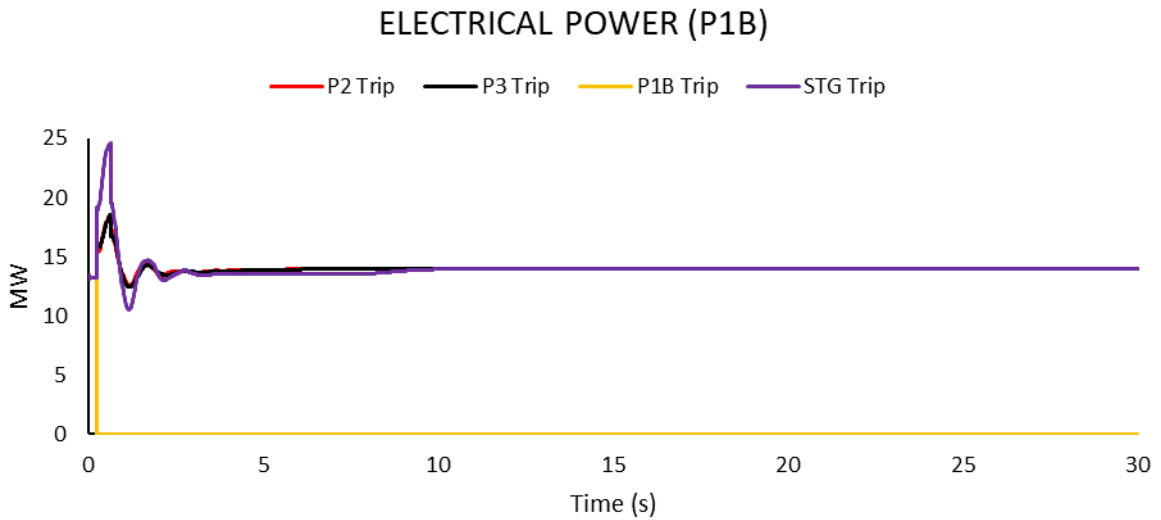
**Gambar 4. 66** Perbandingan Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip



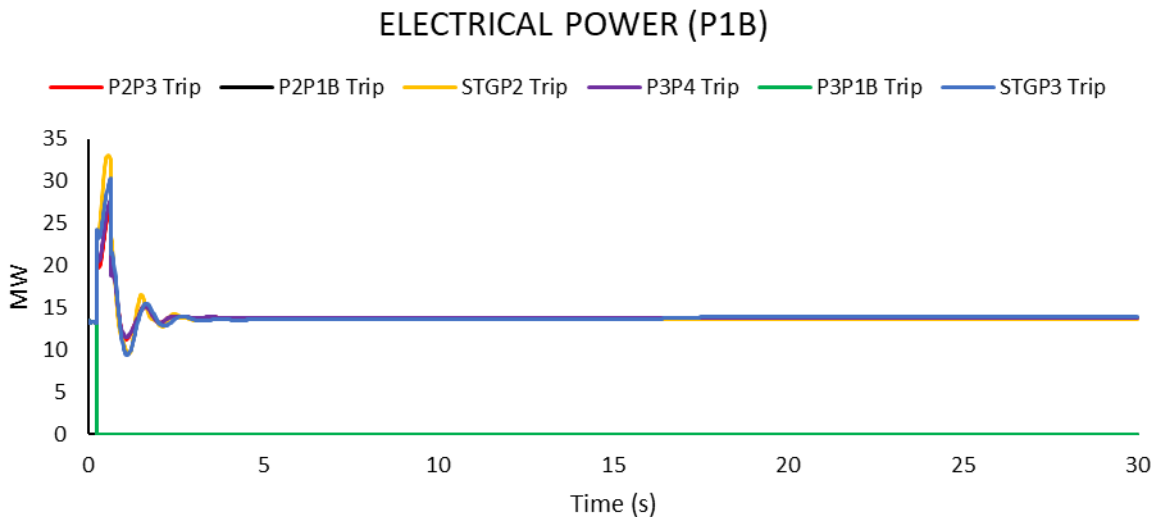
**Gambar 4. 67** Perbandingan Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip

Selain mengamati respon frekuensi dan tegangan, dapat diamati pula respon daya mekanik sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 66** dan **Gambar 4. 67** **Gambar 4. 59**. Dari kedua gambar tersebut, perubahan daya mekanik yang dimiliki oleh generator 5006-J yang berada di P1B tidak terlalu dalam kondisi 1 generator *trip* maupun 2 generator *trip*.

#### 4.4.3.4 Respon Daya Elektrik



**Gambar 4. 68** Perbandingan Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 1 Generator Trip



**Gambar 4. 69** Perbandingan Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Rekomendasi ketika 2 Generator Trip

Dari **Gambar 4. 68** dan **Gambar 4. 69** dapat diketahui terjadinya perubahan *electrical power* yang cukup besar pada generator 5006-J di PIB yaitu pada saat STG mengalami *outage* untuk skema 1 generator *trip* dan pada saat STG & P2 *outage* serta STG & P3 *outage* untuk kondisi 2 generator *trip*. Hal tersebut menunjukkan bahwa generator STG memiliki pengaruh yang besar terhadap sistem tersebut. Selain itu, pada kedua kondisi, nilai *power ramp* pada generator PIB juga tidak menyentuh hingga 10% sehingga dapat dikatakan bahwa skema *load shedding* rekomendasi ini masih dapat digunakan pada sistem tersebut.

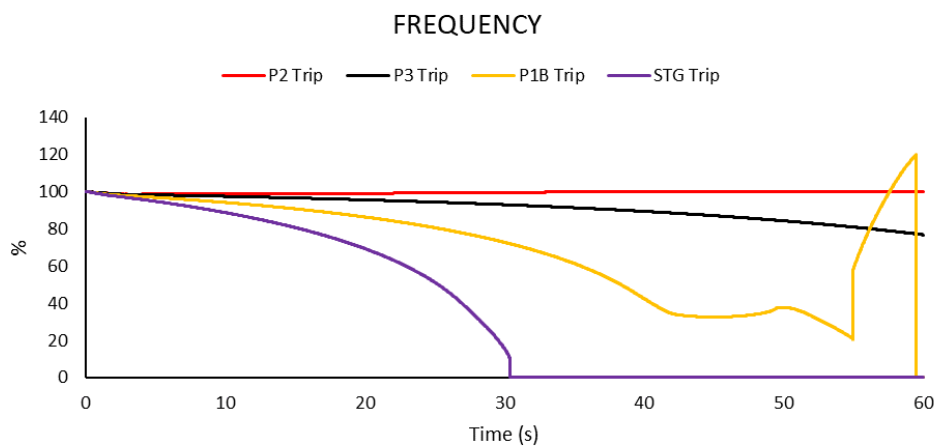
#### 4.4.4 Perbandingan Load Shedding Metode Frekuensi (Skenario D) pada Pola Operasi Lima Generator

*Load shedding* metode frekuensi dilakukan hanya sebagai pembandingan metode status pada dua skenario yang telah dilakukan sebelumnya. Karenanya, pada *load shedding* metode ini hanya dipilih beberapa pola operasi dan skema saja seperti yang telah tercantum pada **Tabel 4. 5** dengan maksud melihat apakah metode ini dapat menjadi rekomendasi yang bisa digunakan di sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

Skema pelepasan beban tiga langkah dipilih dengan memperhatikan dan mempertimbangkan regulasi frekuensi, tegangan, sudut rotor, dan kenaikan daya pada masing-masing rotor. Skenario pada pola operasi normal yang menggunakan metode ini memiliki *intial condition* 5 generator beroperasi normal yang kemudian disusul dengan 1 generator *trip* yang menyebabkan sistem harus melepas bebannya untuk menjaga kestabilan. Berikut merupakan hasil analisis dari respon yang ditunjukkan pada masing-masing *stage* atau langkah pelepasan beban yang dilakukan.

##### 4.4.4.1 Load Shedding Tahap 1 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

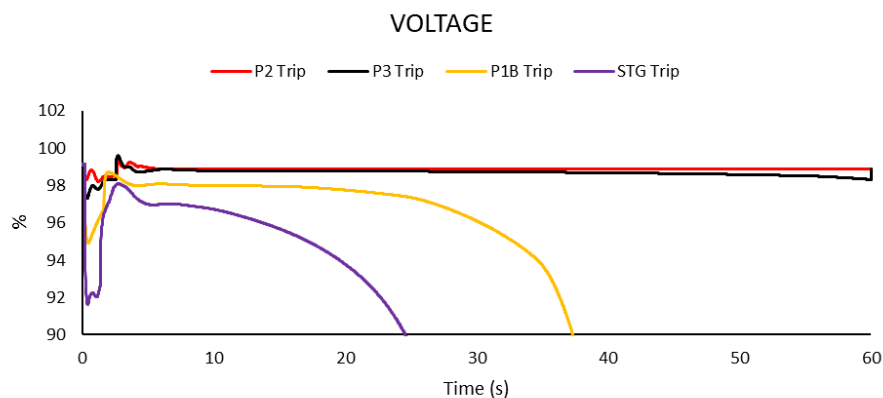
###### 4.4.4.1.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 70** Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Seperti hasil simulai menggunakan metode frekuensi yang telah didapatkan pada **Tabel 4.12**, respon frekuensi menunjukkan bahwa hanya kestabilan skema P2 *trip* dari sistem saja yang dapat mencapai kondisi *steady state* dan dikembalikan kestabilannya pada pelepasan beban tahap pertama. Sedangkan untuk ketiga skema lainnya, frekuensi berada pada batas operasi yang abnormal. Pada **Gambar 4.70**, dapat ditinjau bahwa penurunan frekuensi terendah menyentuh angka hingga 0% sebelum simulasi selesai dilakukan yakni di detik ke-30 pada kasus STG *trip*. Pada kasus P1B *trip*, frekuensi turun bertahap hingga detik ke-55 sebelum akhirnya mengalami *overfrequency* seketika dan dalam sekejap sistem kehilangan sinkronasinya sehingga frekuensi mengalami penurunan yang drastis menyentuh angka 0% pada akhir simulasi. Begitupula dengan kasus P3 *trip* yang membuat sistem tidak mampu mencapai keadaan *steady state* hingga akhir waktu simulasi.

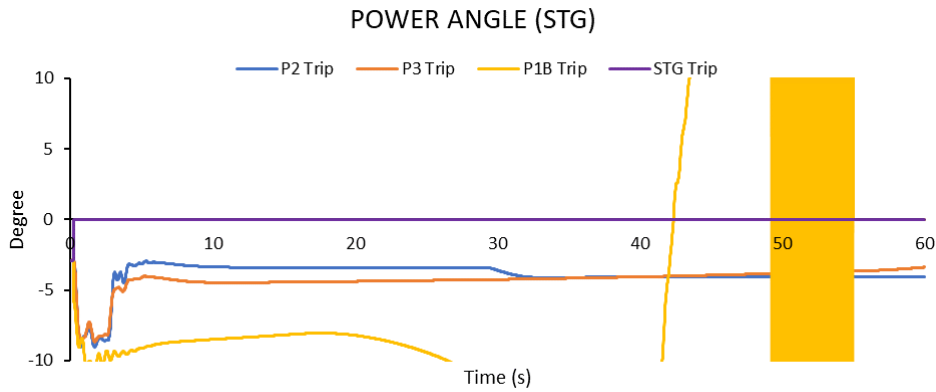
#### 4.4.4.1.2 Respon Tegangan



**Gambar 4.71** Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan pengamatan frekuensi pada **Gambar 4.71**, kestabilan tegangan hanya diperoleh saat P2 *trip* saja. Dapat diketahui dari hasil simulasi bahwa lepasnya generator STG memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap tegangan sistem. Dimana saat terjadi *outage* STG, tegangan mengalami penurunan drastis yang kemudian naik kembali dan secara cepat terus mengalami penurunan persentase tegangan hingga menyentuh 0% pada detik ke-25. Begitupula dengan kasus generator 5006-J *trip* yang berada di P1B. Sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya dimana tegangan juga menyentuh angka 0% sebelum 40s.

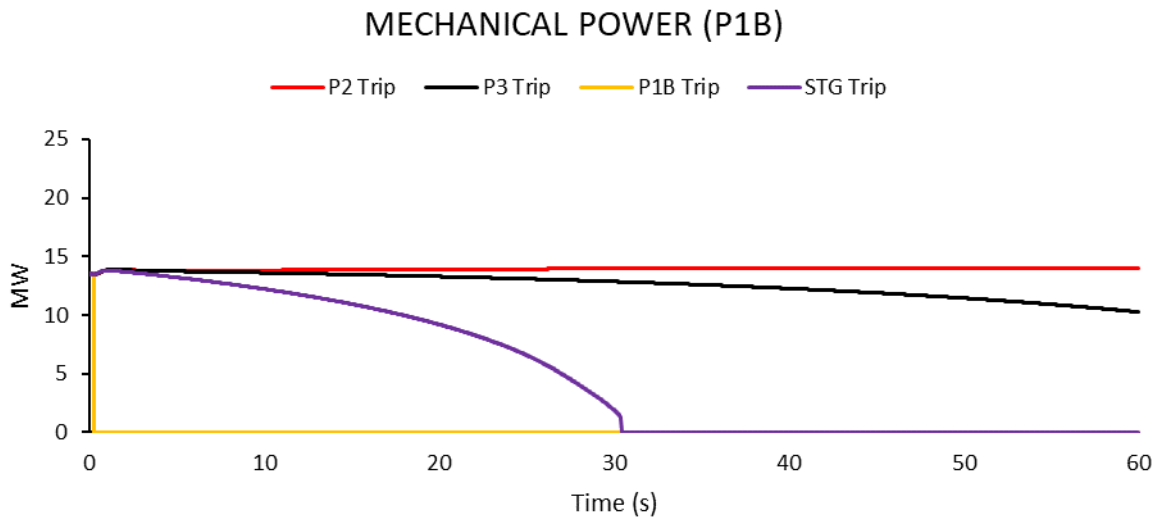
#### 4.4.4.1.3 Respon Sudut Rotor



**Gambar 4. 72** Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Respon sudut rotor pada pelepasan beban tahap pertama yang pada generator STG hanya mencapai keadaan *steady* ketika menjalankan skema P2 *trip*. Sedangkan untuk skema *trip* lainnya, sudut rotor mengalami osilasi yang cukup hebat terutama saat P1B mengalami *outage*.

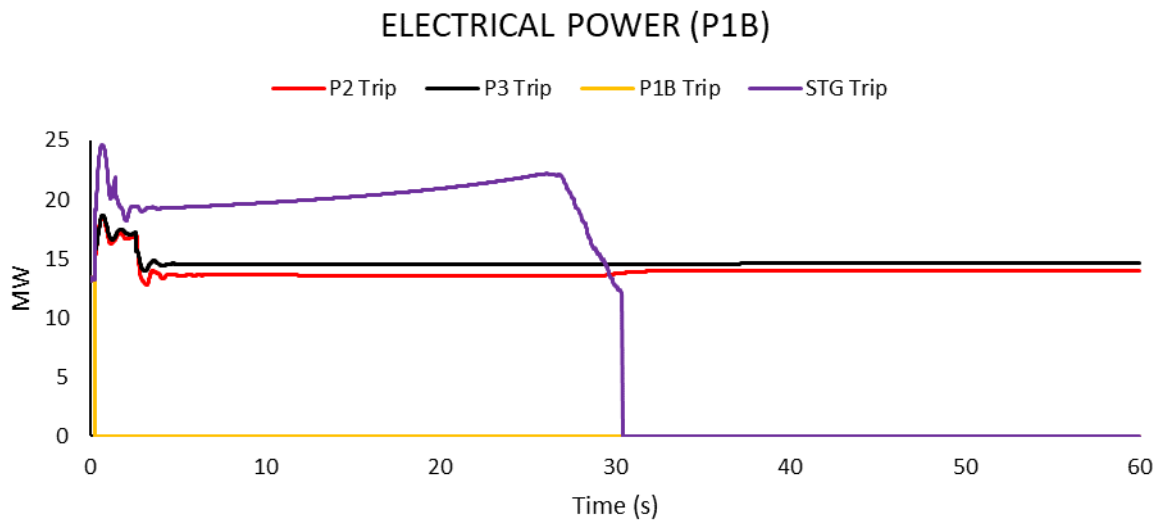
#### 4.4.4.1.4 Respon Daya Mekanik



**Gambar 4. 73** Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Dapat diamati dalam **Gambar 4. 73** bahwa pada generator 5006-J di P1B, STG memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pada kondisi 1 generator trip dimana daya mekanik terendah mencapai 0 MW pada detik ke-30.

#### 4.4.4.1.5 Respon Daya Elektrik

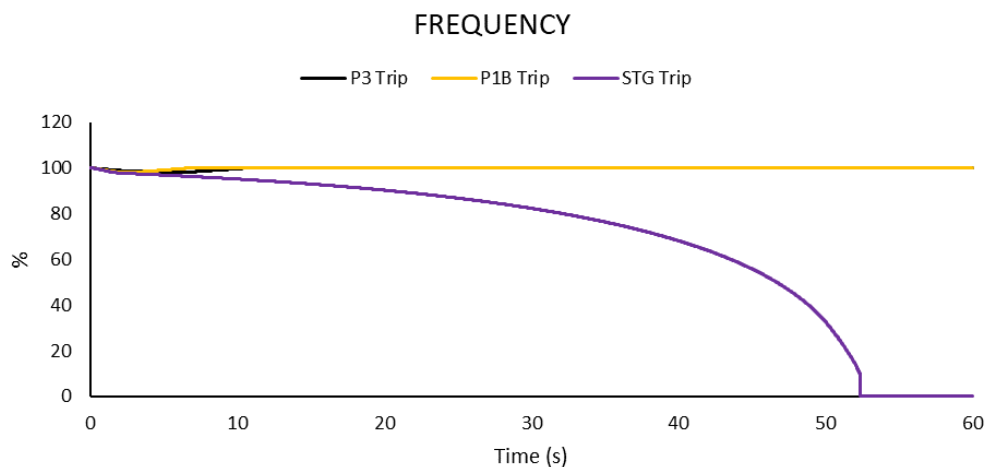


**Gambar 4. 74** Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan respon daya elektrik dalam **Gambar 4. 74**, perubahan cukup besar yang terjadi pada daya elektrik generator P1B adalah pada saat STG mengalami *trip*.

#### 4.4.4.2 Load Shedding Tahap 2 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

##### 4.4.4.2.1 Respon Frekuensi

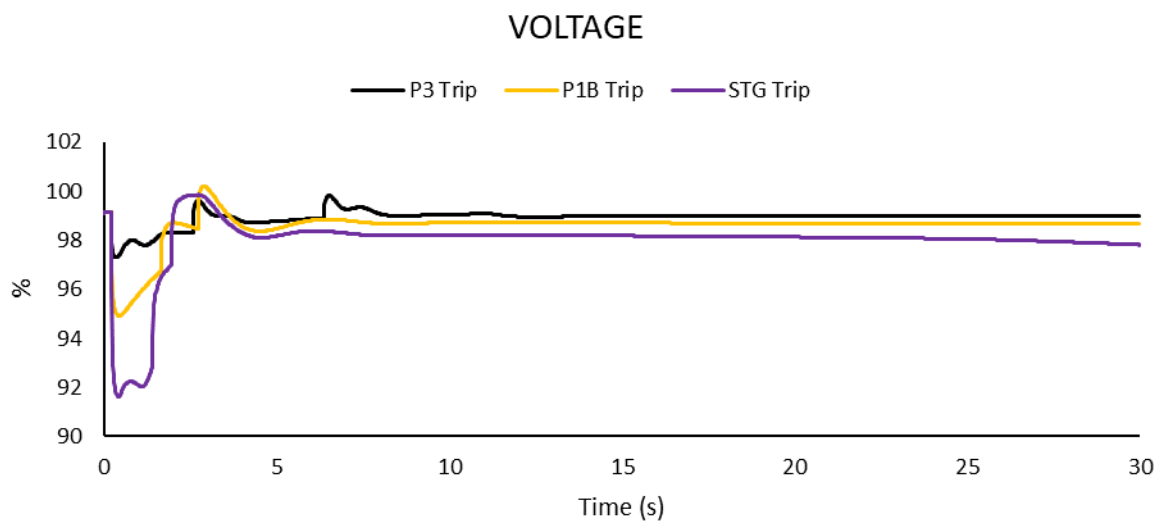


**Gambar 4. 75** Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip



Seperti hasil simulai menggunakan metode frekuensi yang telah didapatkan pada **Tabel 4. 12**, respon frekuensi menunjukkan bahwa hanya kestabilan skema P3 *trip* dan P1B *trip* saja yang dapat mencapai kondisi *steady state* dan mencapai kestabilannya kembali menggunakan pelepasan beban tahap kedua. Sedangkan untuk skema STG *trip*, frekuensi berada pada batas operasi yang abnormal. Pada **Gambar 4. 75** dapat ditinjau bahwa penurunan frekuensi terendah menyentuh angka hingga 0% sebelum waktu simulasi berakhir.

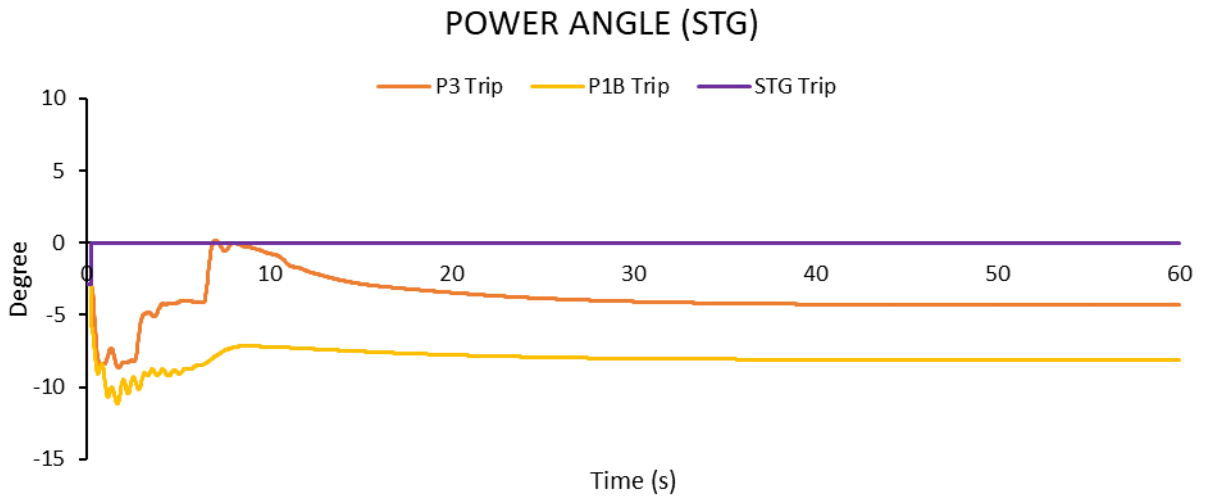
#### 4.4.4.2.2 Respon Tegangan



**Gambar 4. 76** Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan pengamatan tegangan pada **Gambar 4. 76**, kondisi *steady state* tegangan hanya diperoleh saat P3 dan P1B *trip* saja saja. Dapat diketahui dari hasil simulasi bahwa lepasnya generator STG memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap tegangan sistem. Dimana saat terjadi *outage* STG, tegangan mengalami penurunan hingga waktu akhir simulasi.

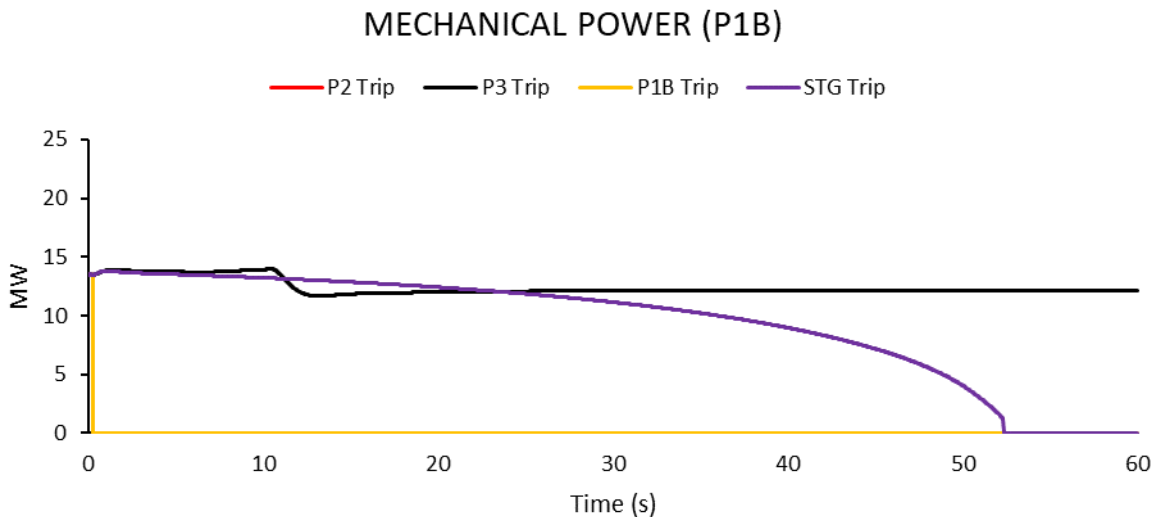
#### 4.4.4.2.3 Respon Sudut Rotor



**Gambar 4. 77** Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Dari respon sudut rotor yang dialami oleh STG pada **Gambar 4. 77**, menunjukkan bahwa ketika dilakukan *load shedding* tahap kedua kestabilan sistem yang terjadi pada saat P3 trip dan P1B trip dapat dikembalikan ketika mendekati detik ke-10 dimana osilasi yang terjadi dapat dimitigasi.

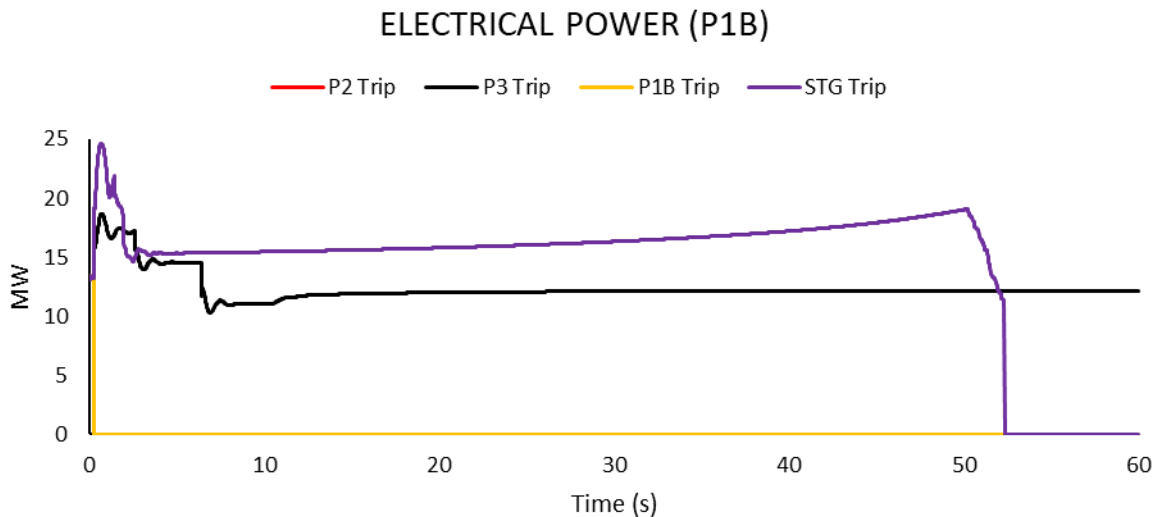
#### 4.4.4.2.4 Respon Daya Mekanik



**Gambar 4. 78** Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Dapat diamati dalam **Gambar 4. 78** bahwa pada generator 5006-J di P1B, STG memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pada kondisi 1 generator trip dimana daya mekanik masih mengalami penurunan hingga 0 MW sebelum berakhirnya waktu simulasi.

#### 4.4.4.2.5 Respon Daya Elektrik

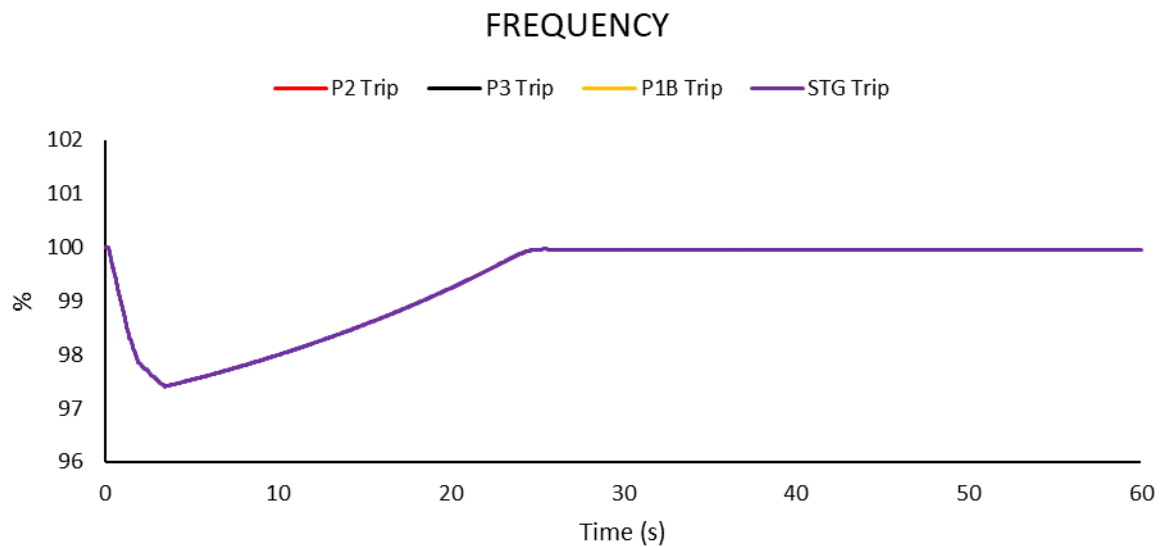


**Gambar 4. 79** Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan respon daya elektrik dalam **Gambar 4. 79**, perubahan cukup besar yang terjadi pada daya elektrik generator P1B adalah pada saat STG mengalami *trip*.

### 4.4.4.3 Load Shedding Tahap 3 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

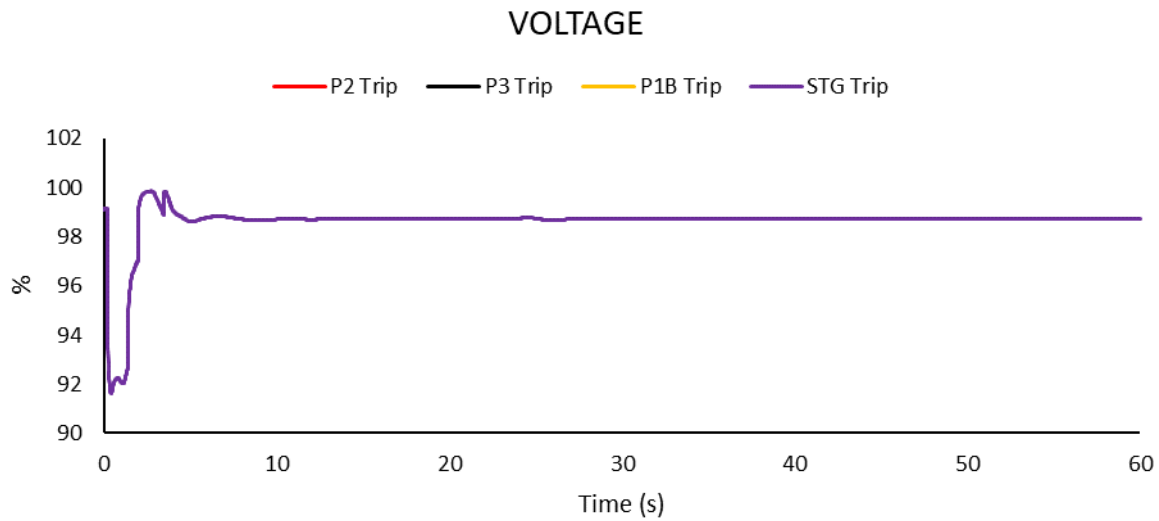
#### 4.4.4.3.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 80** Respon Frekuensi pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip

Seperti hasil simulai menggunakan metode frekuensi yang telah didapatkan pada **Tabel 4. 12**, *trip* yang terjadi pada generator STG menyebabkan sistem harus melakukan hingga *load shedding* tahap ketiga agar dapat mengembalikan kestabilannya. Pada *load shedding* tahap ketiga, membuktikan bahwa sistem belum mampu mencapai kestabilannya apabila hanya melepaskan beban sebesar 10% dari total *load* dan sebesar 15% dari hasil pengurangan total *load* dikurangi dengan daya yang sudah dilepaskan pada tahap pertama. Di tahap ini, sistem dilepas tanpa persentase minimum agar frekuensi tidak menyentuh angka 97%. Respon frekuensi menunjukkan bahwa pada kasus ini sistem masih dapat mencapai kondisi *steady state* setelah detik ke-20 dan masih dapat beroperasi secara normal sesuai dengan standar yang berlaku.

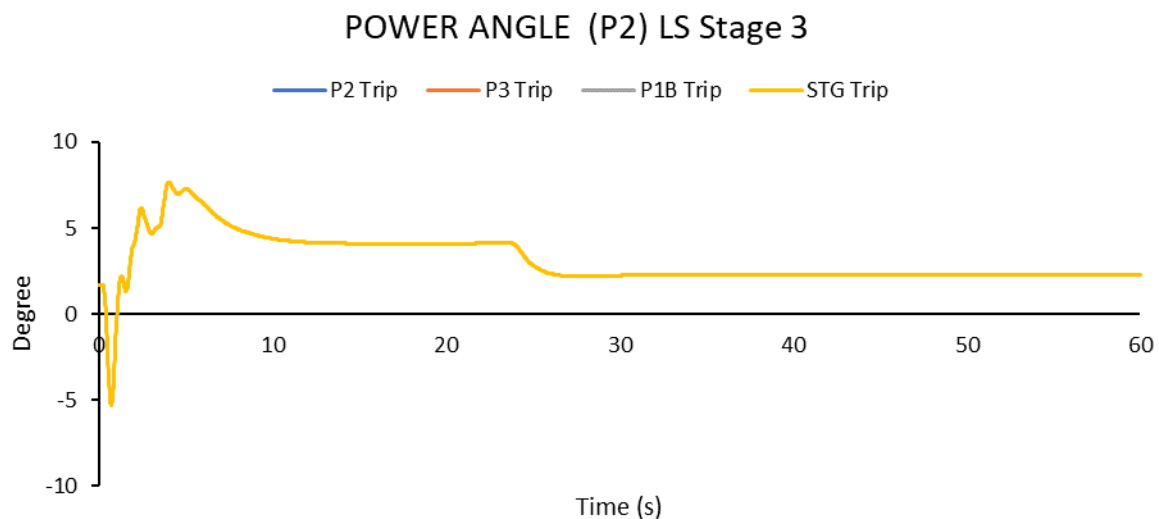
#### 4.4.4.3.2 Respon Tegangan



**Gambar 4. 81** Respon Tegangan pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan pengamatan frekuensi pada **Gambar 4. 81**, kondisi *steady state* tegangan ketika STG *trip* dapat dicapai kembali setelah detik ke-20. Tegangan operasi yang bekerja ketika STG *trip* juga masih berada pada batas yang diizinkan untuk kondisi *normal operation*.

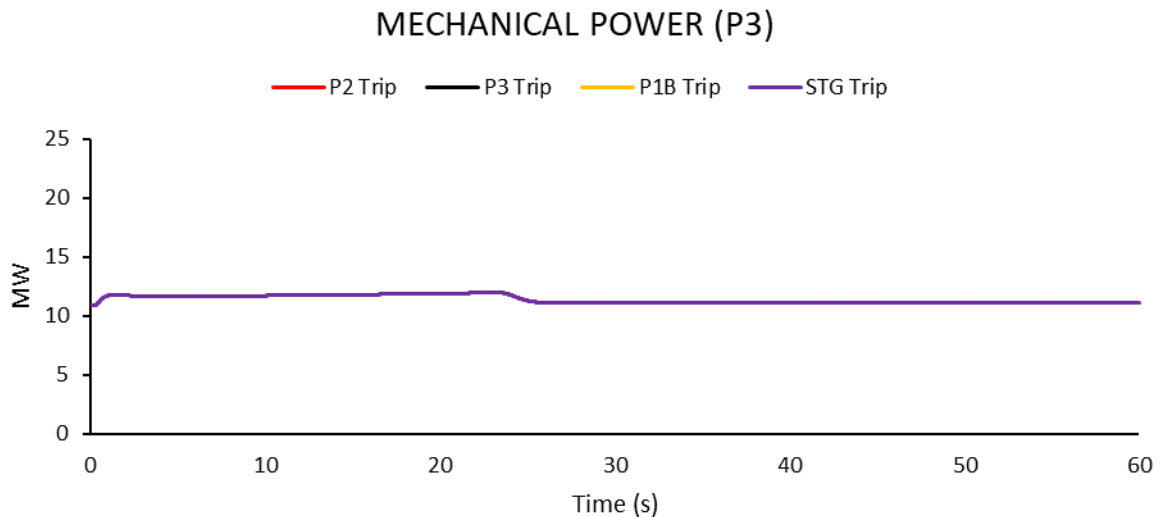
#### 4.4.4.3.3 Respon Sudut Rotor



**Gambar 4. 82** Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip

Dari **Gambar 4. 82** dapat diamati bahwa pelepasan beban tahap ketiga yang dilakukan pada skema STG *trip* dapat mengembalikan kestabilan sistem dimana osilasi yang terjadi pada awal simulasi dapat mencapai kondisi *steady state* setelah detik ke-20 dari waktu simulasi.

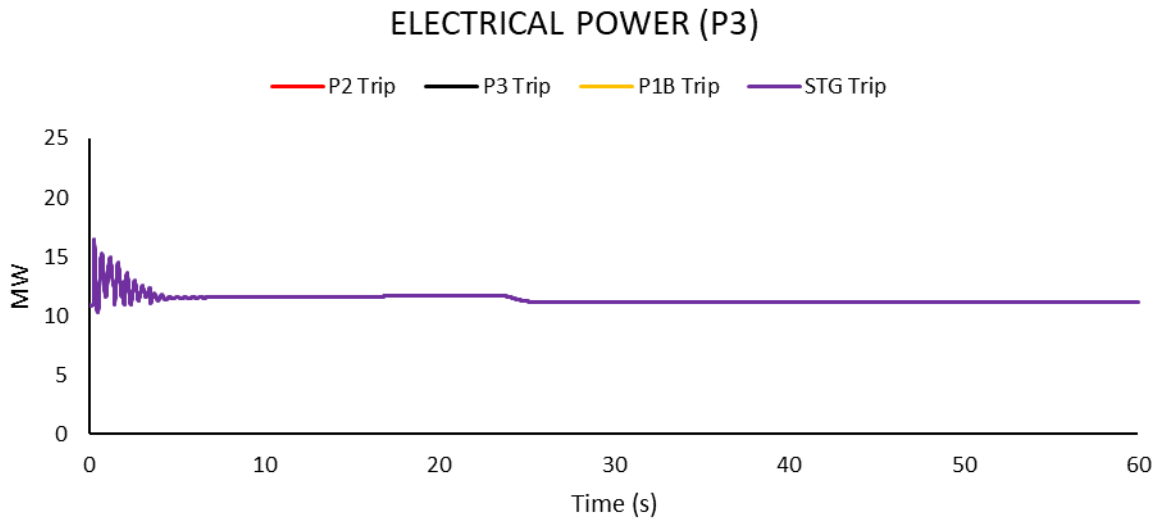
#### 4.4.4.3.4 Respon Daya Mekanik



**Gambar 4. 83** Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip

Dapat diamati pada **Gambar 4. 83** bahwa perubahan daya mekanik yang dimiliki oleh generator 3006-J yang berada di P3 setelah dilakukan *load shedding* tahap ketiga saat STG *trip* tidak membuat perubahan daya mekanik yang terlalu signifikan.

#### 4.4.4.3.5 Respon Daya Elektrik



**Gambar 4. 84** Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Lima Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 3 ketika 1 Generator Trip

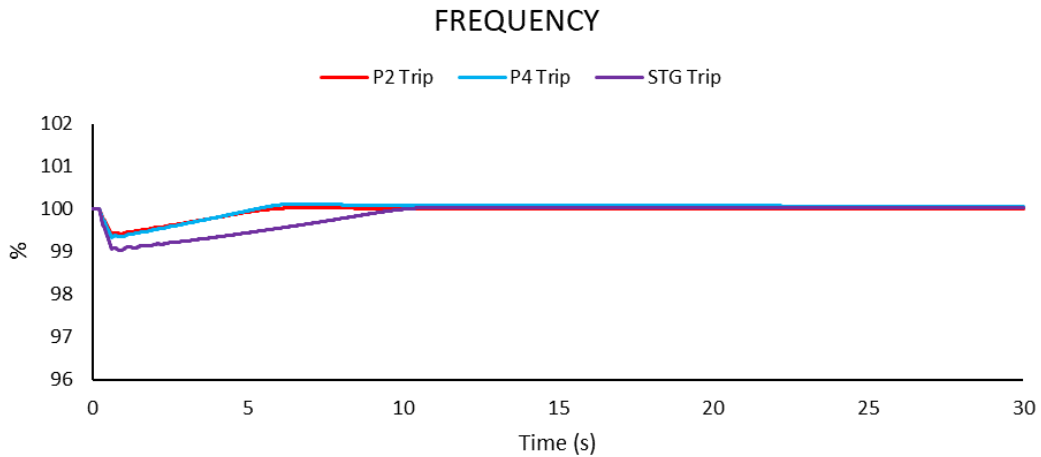
Pada **Gambar 4. 84** dapat dilihat bahwa setelah dilakukan pelepasan beban tahap ketiga, daya elektrik yang dimiliki oleh P3 pada saat terjadi *trip* di STG dapat mencapai kestabilannya. Selain itu, nilai *power ramp* pada generator P3 juga tidak menyentuh hingga 10% sehingga dapat dikatakan bahwa skema *load shedding* rekomendasi ini masih dapat digunakan pada sistem kelistrikan.

#### 4.4.5 Perbandingan *Load Shedding* Eksisting dan Rekomendasi (Skenario B dan Skenario C) Metode Status pada Pola Operasi Empat Generator

Analisis *load shedding* selanjutnya dilakukan pada pola operasi dengan *initial condition* 4 generator Skenario B dan Skenario C seperti yang telah terangkum pada daftar simulasi di **Tabel 4. 3** dan **Tabel 4. 4**. Kuantum beban yang dilepaskan untuk Skenario B dan Skenario C memiliki nilai yang sama seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4. 17** hal tersebut dikarenakan pada pola operasi 4 generator, nilai daya pembangkitan masing-masing generator tidak dapat melkaukan *ramp-up* sebesar 10% karena telah beroperasi secara maksimal. Untuk itu dilakukanlah skema pelepasan beban dimana besar daya yang dilepaskan adalah senilai generator yang mengalami *failure*.

Parameter yang diamati untuk dilakukan analisis adalah frekuensi sistem, tegangan sistem, sudut rotor, daya mekanik, dan daya elektrik pada generator.

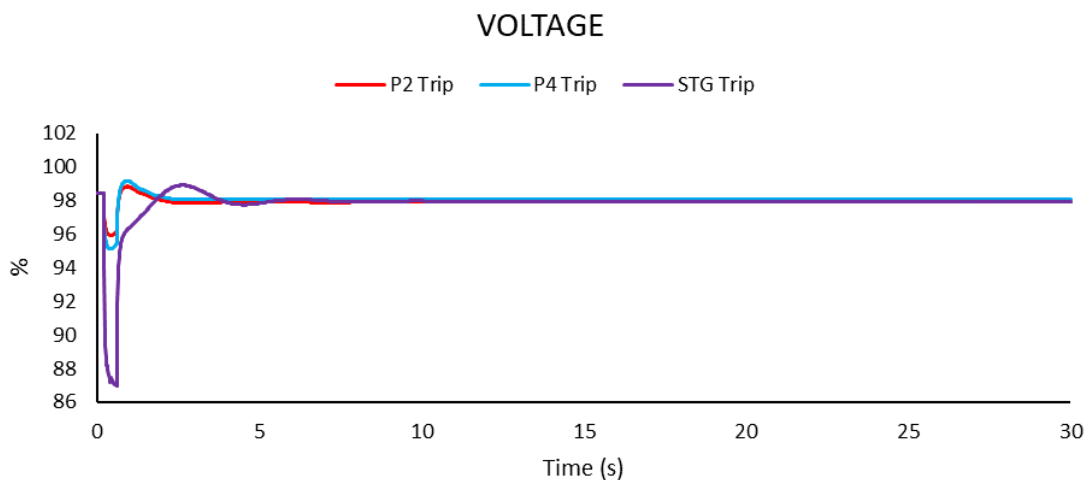
#### 4.4.5.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 85** Perbandingan Respon Frekuensi Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat P1B Off dan 1 Generator Trip

Respon frekuensi yang ditunjukkan dalam **Gambar 4. 85** menunjukkan bahwa saat terjadi 1 *trip* generator, pada sistem mengalami penurunan frekuensi yang paling besar terjadi ketika *STG trip* dari sistem. Namun, penurunan frekuensi yang terjadi masih berada dalam batas wajar *continue operation* sesuai dengan standar IEEE Std. C37-102-2006: *AC Generator Protection*. Dari respon yang ditunjukkan dapat dikatakan bahwa skema *load shedding* dapat digunakan pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang karena pengurangan total daya yang dilakukan dari skema *load shedding* telah mampu mengatasi gangguan akibat *failure* pada generator.

#### 4.4.5.2 Respon Tegangan

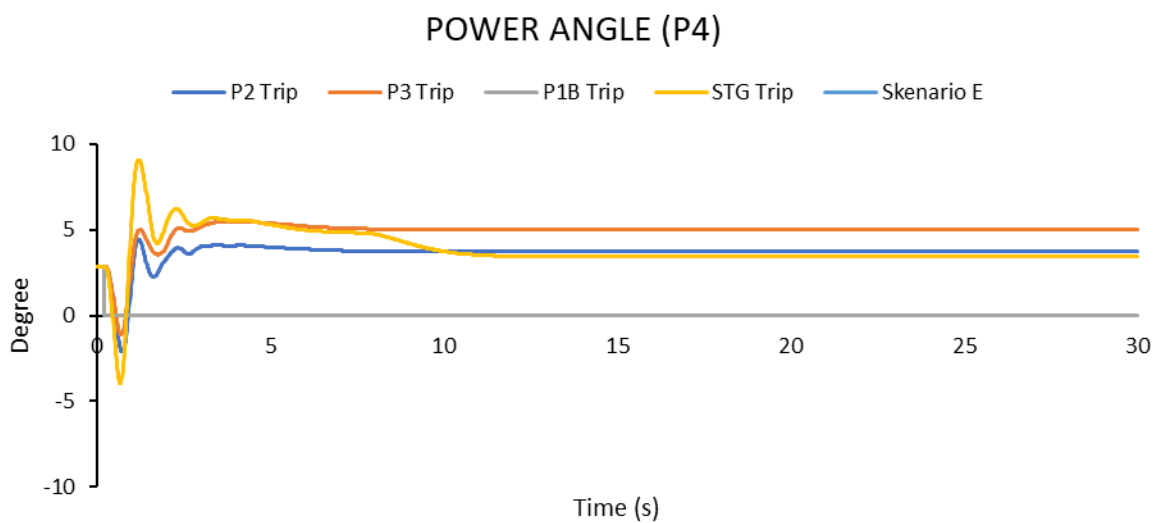


**Gambar 4. 86** Perbandingan Respon Tegangan Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat P1B Off dan 1 Generator Trip



Melalui **Gambar 4. 86** dapat diketahui bahwa respon tegangan pada bus sinkron ketika generator STG mengalami *trip* memberikan dampak yang besar pada tegangan sistem dimana nilai drop yang terjadi menyentuh persentase tegangan dibawah 90%. Namun hal tersebut masih dapat ditoleransi mengingat regulasi yang diatur dalam *Voltage Magnitude Event* berdasarkan standar IEEE 1195-1995 yang menyatakan pada kondisi tersebut sistem hanya mengalami *voltage sags* yang hanya berlangsung beberapa detik saja dan saat mencapai kondisi *steady state*, nilai tegangan masih berada dalam batas standar.

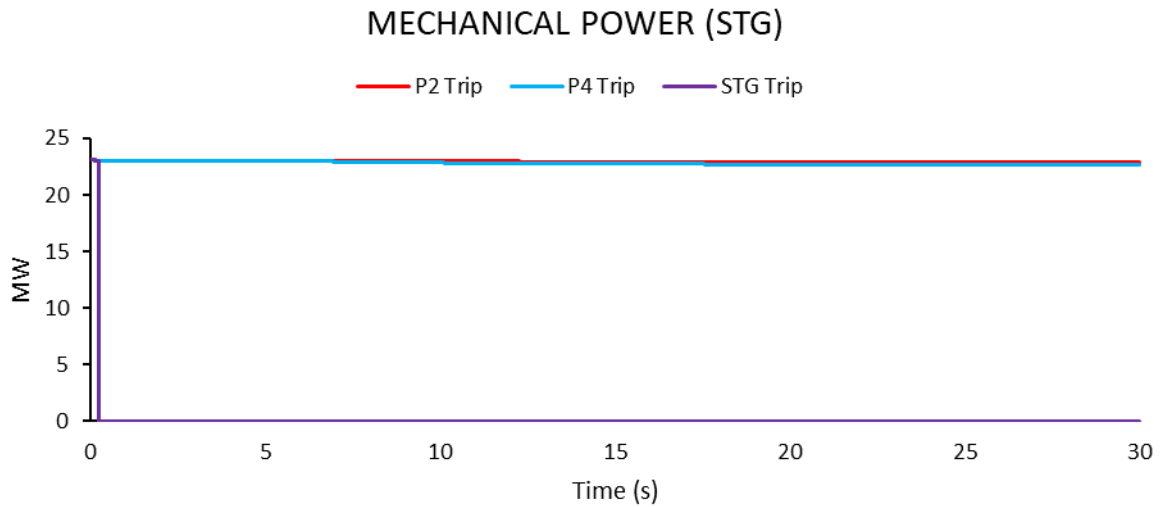
#### 4.4.5.3 Respon Sudut Rotor



**Gambar 4. 87** Perbandingan Respon Sudut Rotor P4 Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat P1B Off dan 1 Generator Trip

Dari respon sudut rotor yang didapatkan pada **Gambar 4. 87** dapat diamati bahwa mekanisme *load shedding* yang telah dijalankan mampu membentuk kestabilan yang baru terhadap osilasi yang terjadi pada pembangkit.

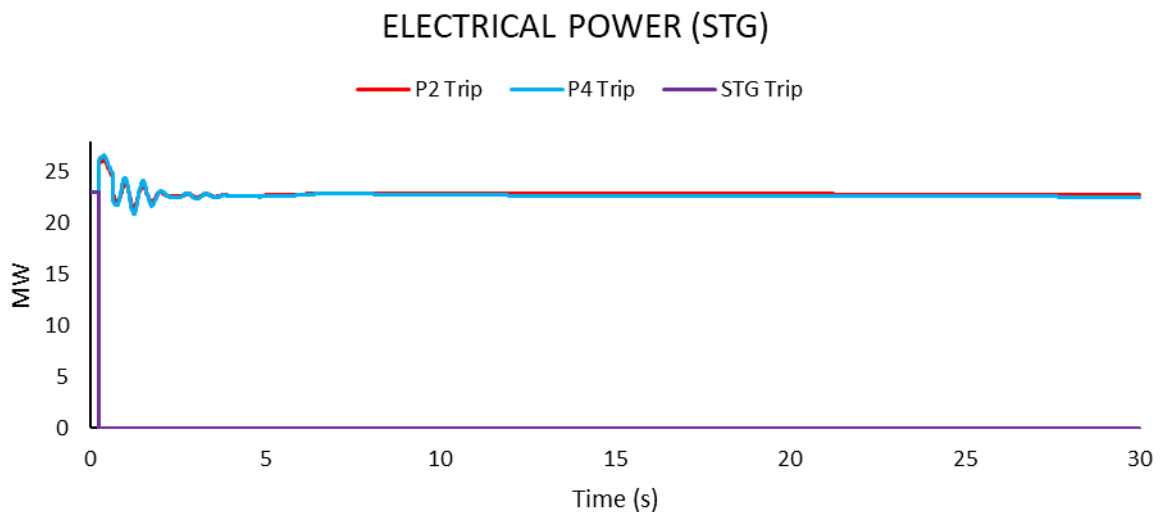
#### 4.4.5.4 Respon Daya Mekanik



**Gambar 4. 88** Perbandingan Respon Daya Mekanik STG Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip

Berdasarkan **Gambar 4. 88** dapat diamati bahwa skema generator trip yang dijalankan tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap respon daya mekanik generator STG karena daya yang dilepaskan sebesar daya generator yang mengalami *failure*.

#### 4.4.5.5 Respon Daya Elektrik



**Gambar 4. 89** Perbandingan Respon Daya Mekanik STG Terhadap Skema Load Shedding Skenario B dan Skenario C saat PIB Off dan 1 Generator Trip

Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4. 89**, peristiwa generator *trip* tidak memberikan dampak yang signifikan pada respon daya elektrik generator STG. Hal tersebut membuktikan bahwa skema *load shedding* yang telah dilakukan dapat dikatakan baik.

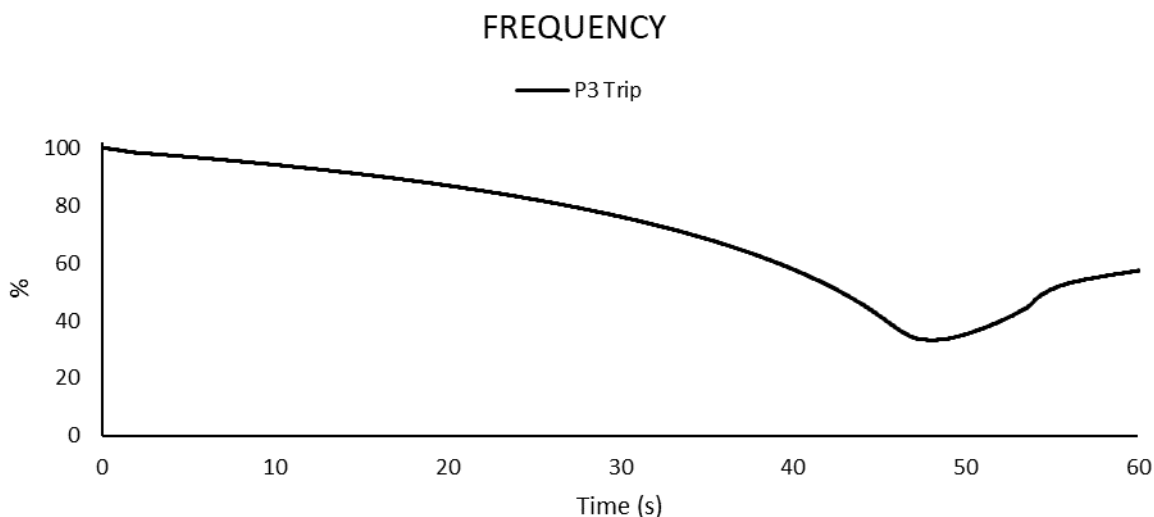
#### 4.4.6 Perbandingan *Load Shedding* Metode Frekuensi (Skenario D) Metode Status pada Pola Operasi Empat Generator

Analisis *load shedding* selanjutnya dilakukan pada pola operasi dengan *initial condition* 4 generator Skenario D seperti yang telah terangkum pada daftar simulasi **Tabel 4. 5**. *Load shedding* metode frekuensi dilakukan hanya sebagai pembandingan metode status pada dua skenario yang telah dilakukan sebelumnya. Karenanya, pada *load shedding* metode ini hanya dipilih beberapa pola operasi dan skema saja dengan maksud melihat apakah metode ini dapat menjadi rekomendasi yang layak digunakan pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

Skema pelepasan beban tiga langkah dipilih dengan memperhatikan dan mempertimbangkan regulasi frekuensi, tegangan, sudut rotor, dan kenaikan daya pada masing-masing rotor. Skenario pada pola operasi empat generator yang menggunakan metode ini memiliki *intial condition* 4 generator beroperasi yang (P2 *off*) yang kemudian disusul dengan 1 generator *trip* (P3) yang menyebabkan sistem harus melepaskan bebannya untuk menjaga kestabilan. Berikut merupakan hasil analisis dari respon yang ditunjukkan pada masing-masing *stage* atau langkah pelepasan beban yang dilakukan.

##### 4.4.6.1 Load Shedding Tahap 1 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

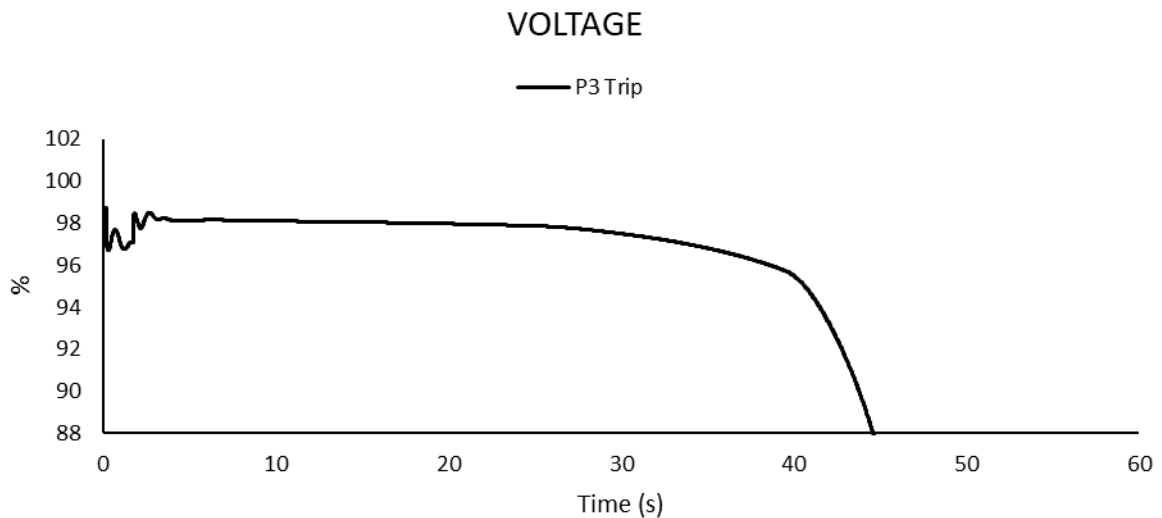
###### 4.4.6.1.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 90** Respon Frekuensi pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Seperti hasil simulasi menggunakan metode frekuensi yang telah didapatkan pada **Tabel 4.12**, respon frekuensi menunjukkan bahwa hanya kestabilan skema P2 *off* yang disusul dengan *trip* P3 belum mampu dikembalikan kestabilannya dengan melakukan pelepasan beban di tahap pertama. Dalam skema ini membuat frekuensi beroperasi berada pada batas yang tidak diizinkan. Pada **Gambar 4.90**, dapat ditinjau bahwa penurunan frekuensi terendah menyentuh angka hingga 40% yang membuat sistem harus melanjutkan skema pelepasan beban ke tahap kedua.

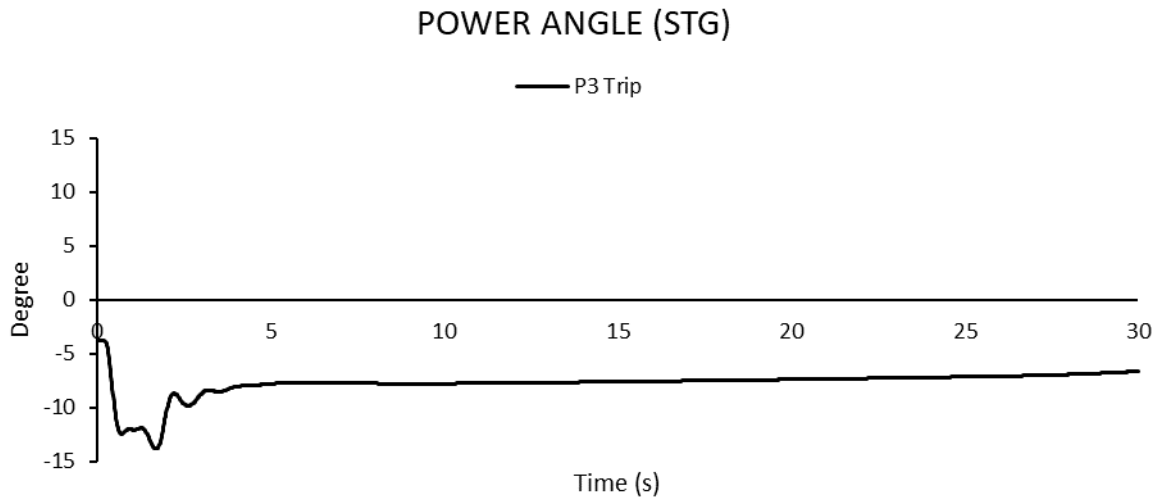
#### 4.4.6.1.2 Respon Tegangan



**Gambar 4.91** Respon Tegangan pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan pengamatan tegangan pada **Gambar 4.91**, kestabilan tegangan belum dapat dicapai dengan hanya melakukan *load shedding* tahap pertama. Ketika terjadi *outage* pada P3, tegangan mengalami fluktuasi yang disusul dengan penurunan drastis hingga tegangan menyentuh 0% sebelum waktu simulasi berakhir. Hal tersebut membuktikan bahwa pada skema ini masih diperlukan pelepasan beban tahap kedua.

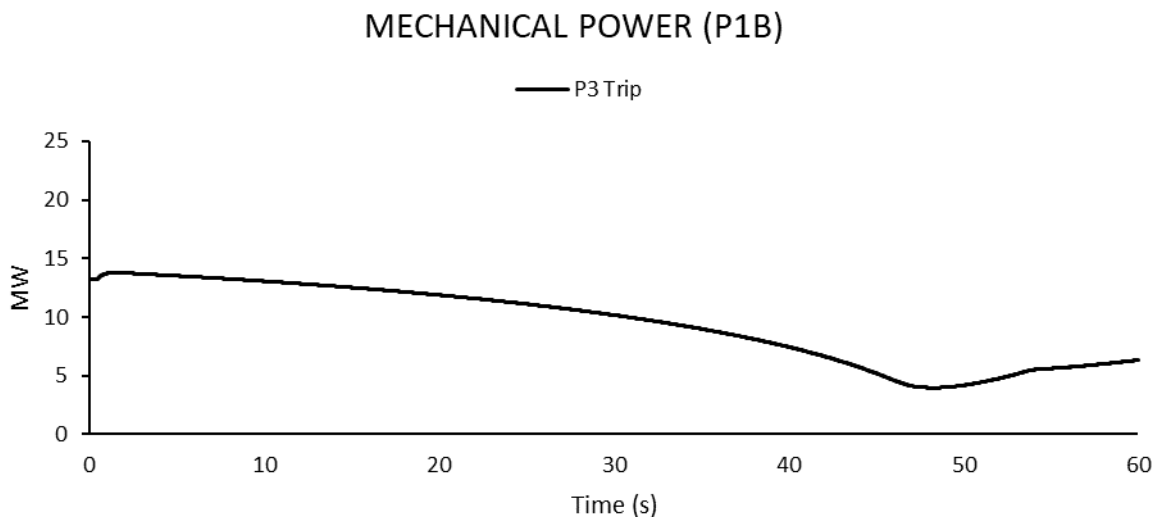
#### 4.4.6.1.3 Respon Sudut Rotor



**Gambar 4. 92** Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Dapat dianalisis bahwa sudut rotor pada **Gambar 4. 92** pada generator STG mengalami osilasi sebelum dilakukan mekanisme *load shedding* frekuensi tahap pertama. Setelah dilakukan pelepasan beban, hasil yang didapatkan adalah derajat sudut rotor masih berfluktuasi dan belum mampu mencapai kondisi *steady state* sehingga perlu dilakukan *load shedding* tahap berikutnya.

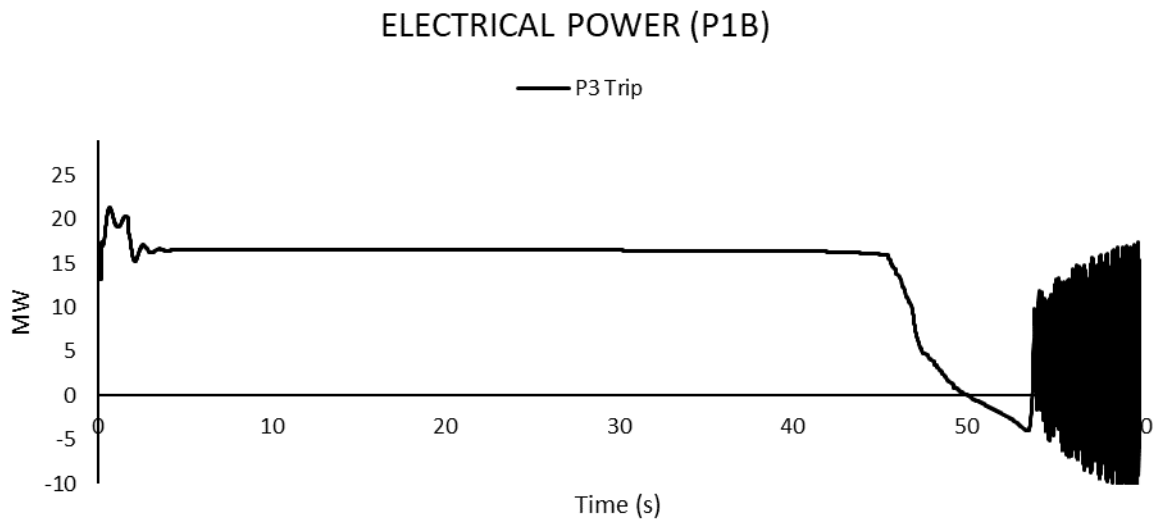
#### 4.4.6.1.4 Respon Daya Mekanik



**Gambar 4. 93** Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

Dapat diamati dalam **Gambar 4. 93** bahwa pada generator 5006-J di P1B, *trip* pada P3 memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap pada kondisi 1 generator trip dimana daya mekanik terendah mencapai dibawah 5 MW setelah detik ke-40.

#### 4.4.6.1.5 Respon Daya Elektrik

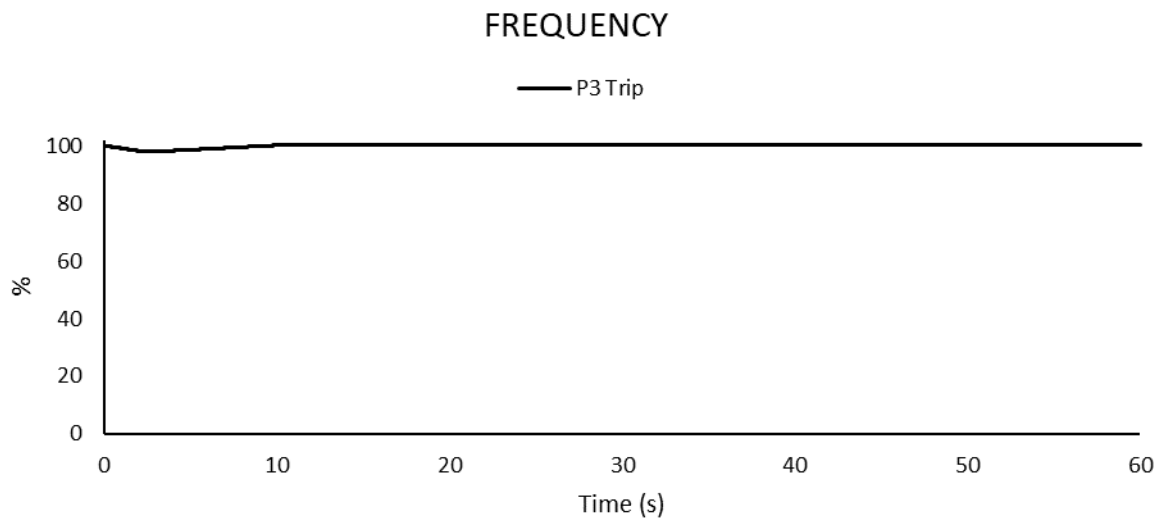


**Gambar 4. 94** Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 1 ketika 1 Generator Trip

**Gambar 4. 94** menunjukkan bahwa respon generator 5006-J di P1B ketika terjadi *outage* di P3 memiliki daya elektrik yang tidak stabil dimana ketika mendekati akhir waktu simulasi daya mengalami fluktuasi. Untuk itu, dibutuhkan *load shedding* tahap berikutnya.

#### 4.4.6.2 Load Shedding Tahap 1 Skema Pelepasan Beban Dua Langkah

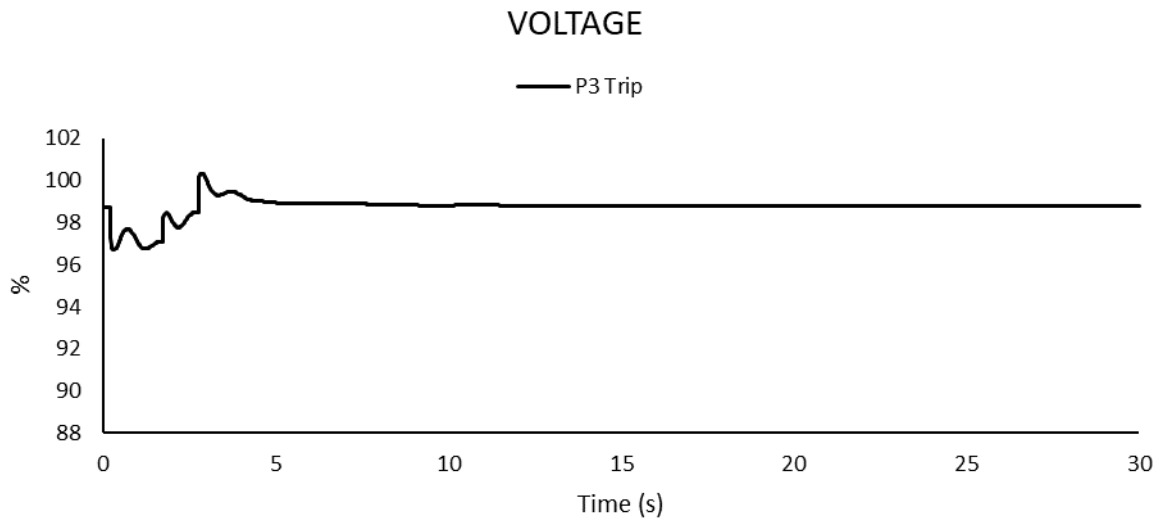
##### 4.4.6.2.1 Respon Frekuensi



**Gambar 4. 95** Respon Frekuensi pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Seperti hasil simulai menggunakan metode frekuensi yang telah didapatkan pada **Tabel 4. 12**, *trip* yang terjadi pada generator P3 menyebabkan sistem harus melakukan hingga *load shedding* tahap ketiga agar dapat mengembalikan kestabilannya. Pada *load shedding* tahap ketiga, dibuktikan bahwa sistem belum mampu mencapai kestabilannya apabila hanya melepaskan beban sebesar 10% dari total *load* dan sebesar 15% dari hasil pengurangan total *load* dikurangi dengan daya yang sudah dilepaskan pada tahap pertama. Di tahap ini, sistem dilepas tanpa persentase minimum agar frekuensi tidak menyentuh angka 97%. Respon frekuensi menunjukkan bahwa pada kasus ini sistem masih dapat mencapai kondisi *steady state* setelah detik ke-10 dan masih dapat beroperasi secara normal sesuai dengan regulasi yang berlaku.

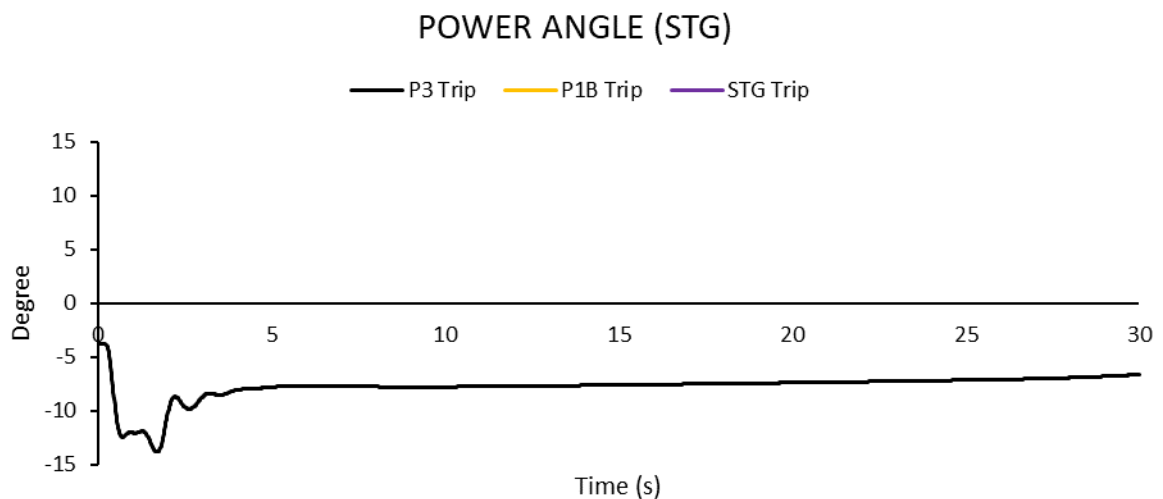
#### 4.4.6.2 Respon Tegangan



**Gambar 4. 96** Respon Tegangan pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Berdasarkan pengamatan frekuensi pada **Gambar 4. 96** kondisi *steady state* tegangan ketika P3 *trip* dapat dicapai kembali setelah detik ke-10. Tegangan operasi yang bekerja ketika P3 *trip* juga masih berada pada batas yang diizinkan untuk kondisi *normal operation*.

#### 4.4.6.2.3 Respon Sudut Rotor

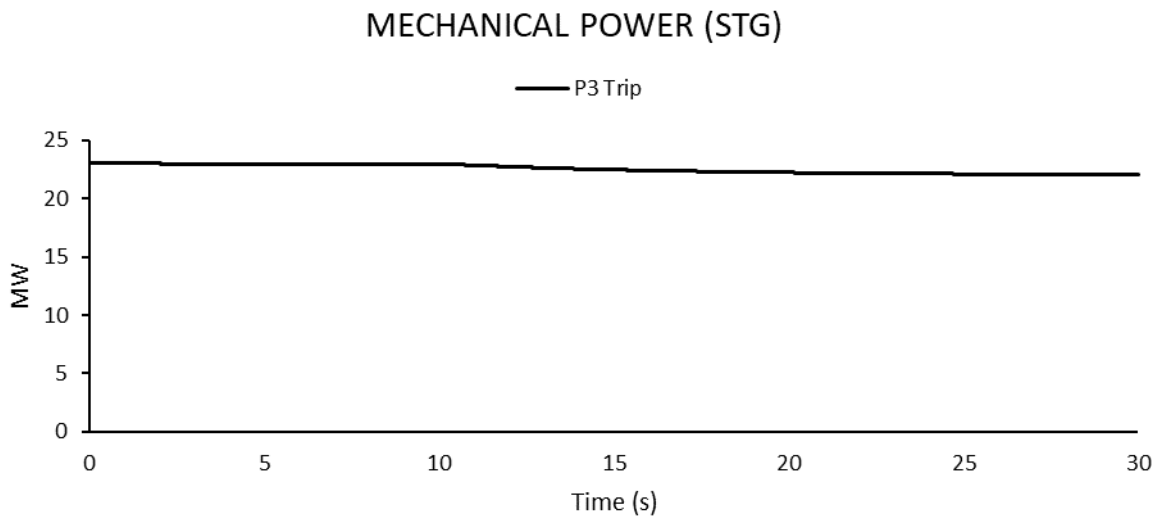


**Gambar 4. 97** Respon Sudut Rotor pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip



Dari **Gambar 4. 97** dapat diamati bahwa pelepasan beban tahap ketiga yang dilakukan pada skema P3 *trip* mampu mengembalikan kestabilan sistem dimana osilasi yang terjadi pada awal simulasi dapat mencapai kondisi yang cukup stabil setelah dilakukan *load shedding* tahap kedua.

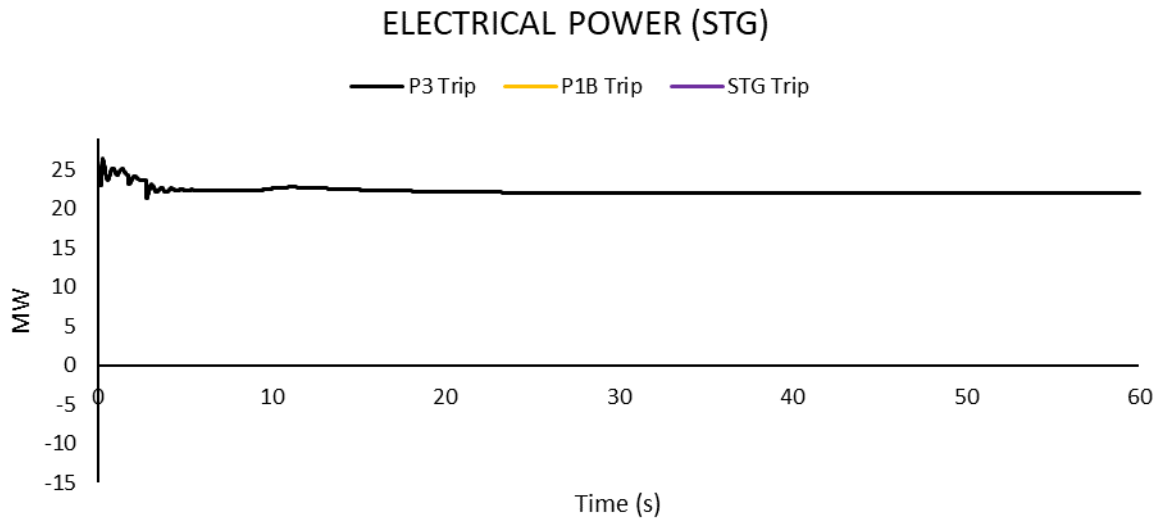
#### 4.4.6.2.4 Respon Daya Mekanik



**Gambar 4. 98** Respon Daya Mekanik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Dapat dijumpai pada **Gambar 4. 98** bahwa perubahan daya mekanik yang dimiliki oleh generator STG setelah adanya *load shedding* tahap kedua saat P3 *trip* tidak membuat perubahan daya mekanik yang terlalu signifikan setelah melakukan *load shedding* tahap kedua.

#### 4.4.6.2.5 Respon Daya Elektrik



**Gambar 4. 99** Respon Daya Elektrik pada Pola Operasi Empat Generator terhadap Skema LS Frekuensi Langkah 2 ketika 1 Generator Trip

Meninjau **Gambar 4. 99**, dapat dilihat bahwa setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua, daya elektrik yang dimiliki oleh STG pada saat terjadi *trip* di P3 dapat mencapai kestabilannya. Selain itu, nilai *power ramp* pada generator STG juga tidak menyentuh hingga 10% sehingga dapat dikatakan bahwa skema *load shedding* rekomendasi ini masih dapat digunakan pada sistem kelistrikan namun dengan catatan bahwa metode frekuensi ini memiliki kelemahan dimana harus melakukan pelepasan beban yang jauh lebih besar kuantumnya jika dibandingkan dengan metode status.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam keadaan normal, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki 5 generator untuk memenuhi kebutuhan produksi sebesar 67.62 MW. Pengoperasian 5 generator dirasa kurang bijaksana mengingat sistem harus memenuhi kriteria kontingensi yaitu N-1. Sehingga sistem memiliki *backup* generator ketika salah satu generator mengalami kegagalan.
2. Jumlah unit yang aktif sesaat sebelum kejadian transien mempengaruhi total inersia sistem. Apabila inersia sistem pada sistem relatif rendah, maka hal ini mengakibatkan penurunan frekuensi yang curam pada kondisi transien.
3. Generator STG memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap sistem, sehingga diperlukan perhatian ekstra agar dapat meminimalisir terjadinya kegagalan.
4. Karakteristik masing-masing generator memiliki kemampuan ramp-up yang berbeda, pada STG memiliki nilai ramp-up relatif lambat dan sangat bergantung pada buffer steam yang tersedia. Sedangkan pada GTG memiliki nilai ramp-up yang cepat yang dimana kemampuan ramp-up ini mempengaruhi proses *recovery* frekuensi pada kejadian transien. Perlu dipastikan kondisi masing-masing operasi kontroler turbin dan governor yang ideal serta skema *load shedding* yang memadai.
5. Sistem *load shedding* PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang kondisi eksisting dengan basis status telah mampu menghadapi gangguan besar yang terjadi pada sistem seperti gangguan 2 generator trip.
6. Dari 23 skema yang dijalankan, skenario pelepasan beban rekomendasi menggunakan metode status pola operasi normal masih dapat meminimalisir besar kuantum *load shedding* eksisting yang telah dimiliki oleh PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang namun dapat tetap menjaga kestabilan sistem kelistrikan sesuai dengan regulasi yang berlaku.
7. Rekomendasi skenario *load shedding* yang diberikan dapat berupa pengurangan total daya *load shedding* dari kondisi eksisting dengan mempertimbangkan kenaikan masing-masing generator tidak lebih dari 10%.
8. Dari respon parameter kestabilan yang ditunjukkan oleh sistem kelistrikan, pelepasan beban menggunakan metode status skenario *load shedding* eksisting memiliki kestabilan yang lebih baik jika dibandingkan dengan skenario rekomendasi. Tetapi dengan kuantum pelepasan beban yang lebih minimal, *load shedding* rekomendasi masih mampu menjaga kestabilan sistem kelistrikan pada PT. Pupuk Sriwidjaja.
9. Pelepasan beban menggunakan metode status lebih unggul jika dibandingkan dengan metode frekuensi tiga langkah karena memungkinkan terjadinya *over* dan *under load shedding* karena sistem hanya memantau respon dari frekuensi.

## 5.2 Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang adalah sebagai berikut:

1. Dalam menyusun perencanaan pelepasan beban, sebaiknya melepas beban-beban yang terdekat dengan generator yang mengalami kasus *outage/trip* terlebih dahulu.
2. PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat mempertimbangkan untuk menggunakan rekomendasi *load shedding yang ada* pada tugas akhir ini apabila ingin meminimalisir pelepasan beban namun tetap dapat menjaga kestabilan sistem sesuai dengan standar yang berlaku.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Waskito. (2014). Analisis Kestabilan Transien di PT. PUSRI Akibat Penambahan Pembangkit 35 MW dan Pabrik P2-B Menggunakan Sistem Synchronizing bus 33 Kv”
- A., Pujiantara, M., & Fahmi, D. (2017). Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Di PT. Pusri Akibat Penambahan Generator Dan Penambahan Beban. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21145>
- Das, J. C. (2010). *Transients in Electrical Systems: Analysis, Recognition, and Mitigation* (1st ed.). McGraw Hill.
- Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions. (2004). *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1387–1401. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2004.825981>
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Elements of Power System Analysis* (4th ed.). McGraw Hill Companies Inc.
- Hafidz, I. (2014). Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di Project Pakistan Deep Water Contrainer Port. *Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Di Project Pakistan Deep Water Contrainer Port*.
- IEEE. (1987, July). C37.106-1987 - IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1987.79552>
- IEEE. (1995, November). 1159-1995 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1995.79050>
- IEEE. (2004, February). C37.106-2003 - IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2004.94434>
- IEEE. (2007, February). C37.102-2006 - IEEE Guide for AC Generator Protection. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2007.8526571>
- Khoiriatis, A. (2017). Analisa Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Akibat Penambahan Pembangkit pada Sistem Kelistrikan New Island Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur.
- Kundur, P., Paserba, J., Vittal, V., & Andersson, G. (2006). Closure of “Definition and Classification of Power System Stability.” *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(1), 446. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2005.861952>
- Kundur, P. S. (1994). *Power System Stability and Control* (1st ed.). McGraw Hill.
- L. Grigsby. (2012) *Power System Stability and Control*, 3rd ed., CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Marsudi, Djiteng. (2006). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Graha Ilmu
- Noviyani, H., Junaidi, & Harjono, P. (2016). Studi Pelepasan Beban pada Skema Pertahanan (Defence Scheme) Jaringan Sistem Khatulistiwa. *Studi Pelepasan Beban Pada Skema Pertahanan (Defence Scheme) Jaringan Sistem Khatulistiwa*.
- Penangsang, O. (2008). *Kestabilan Sistem Tenaga Listrik* (Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2 ed.). ITS.
- PLN. (1982). *Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi (Konsep Standar)*. PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang.
- Saadat, H. (1998). *Power System Analysis* (Subsequent ed.). McGraw-Hill College.
- Soeprijanto, A. (2012). Desain kontroler untuk kestabilan dinamik sistem tenaga listrik. *Desain Kontroler Untuk Kestabilan Dinamik Sistem Tenaga Listrik*.
- Sulasno. (1993). Analisa Sistem Tenaga Listrik. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*.
- Summary of the “Guide for abnormal frequency protection for power generating plants” ANSI/IEEE C37.106-198X. (1988a). *IEEE Transactions on Power Delivery*, 3(1), 153–158. <https://doi.org/10.1109/61.4240>

Summary of the “Guide for abnormal frequency protection for power generating plants”  
ANSI/IEEE C37.106-198X. (1988b). *IEEE Transactions on Power Delivery*, 3(1), 153–  
158. <https://doi.org/10.1109/61.4240>

Wahyudi, R. (2004). *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*. Teknik Elektro, ITS.

## LAMPIRAN

### Daftar Lokasi Pelepasan Beban

#### 1. Skenario B (*Load Shedding Eksisting Metode Status*)

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
1	Normal	P2 Trip	6.62	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.70	8.90
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
				P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	2.10	
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW)	0.3	
2	Normal	P3 Trip	8.62	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	10.7
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)		
				P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)		
				PB1	28 - P1B - 2 (0.3 MW)		
3	Normal	P1B Trip	10.619	P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW)	1.5	12.7
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A (0.6 MW) 36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	11	
				P3	21 - P3 - 4 (0.2 MW)	0.2	



Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
4	Normal	STG Trip	19.618	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	21.72
				P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
				P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	0.5	
5	Normal	P2 & P3 Trip	18.619	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	19.7
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	5.8	
				P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 35 - P2B - SWGR51A (0.6 MW) 36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	8.7	
6	Normal	P2 &	20.618	P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW)	3.9	21.4

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
		P1B Trip		P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A-1 (0.6 MW) 36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	11	
7	Normal	STG & P2 Trip	29.618	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	32.32
		STG & P2 Trip		P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
		STG & P2 Trip		P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW) SG61 - 8 - 1 (6.9 MW)	10.4	
		STG & P2 Trip		P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	
8	Normal		20.62	P2	17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.6	21.9

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
		P3 & P4 Trip		P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
				P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A-1 (0.6 MW) 36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	11	
9	Normal	P3 & P1B Trip	22.619	P3B	SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	1.4	23.4
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
				P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A-1 (0.6 MW) 36 - P1B - SWGR51A-2 (0.8 MW)	11	
10	Normal	STG & P3 Trip	31.619	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	34.22
				P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	5.8	
				P3B	SG71 - 3 - 1 (0.5 MW) SG61 - 6 - 1 (6 MW)	6.5	
11	P2 Off	P3 Trip	10.3	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	11.9
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	1.4	
				P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	3.8	
12	P2 Off	P1B Trip	12.3	P3B	SG71 - 3 -1 (0.5 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	1.9	14.1
				P3	19 - P3 - 2 (0.4 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	1.3	
				P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	6.4	
13	P2 Off	STG Trip	22.3	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	23.32
				P2	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG -P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
				P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	
14	P3 Off		9.7	P3B	SG71 - 3 -1 (0.5 MW)	0.5	10

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
		P2 Trip		P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
				P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
				P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	6.4	
15	P3 Off	P4 Trip	11.7	P3B	SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	1.4	12.1
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
				P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
				P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW)	7.6	
16	P3 Off	P1B Trip	13.7	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	14.3
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
				P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW)	7.6	
17	P3 Off	STG Trip	22.7	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	23.32
				P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
				P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
18	P1B Off	P2 Trip	9.48	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	10.3
19	P1B Off	P4 Trip	11.48	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	12.4
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
				P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
				P1B	36 - P1B - SWGR51A-2 (0.8 MW)	0.8	
20	P1B Off	STG Trip	22.48	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	23.32
				P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG -P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
				P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	
21	STG Off	P2 Trip	9.46	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW) SG71 - 3 -1 (0.5 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	4	10
				P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding (MW)	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW)	5.3	
22	STG Off	P4 Trip	11.46	P3	23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	3.6	11.9
				P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	3.8	
23	STG Off	P1B Trip	13.46	P3	20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.3	13.8
				P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
				P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW)	4	
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
				P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
				P1B	36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	0.8	

## 2. Skenario C (Load Shedding Rekomendasi Metode Status)



Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
1	Normal	P2 Trip	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	6.7
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	6.0	
2	Normal	P3 Trip	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	8.6
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	2.1	
3	Normal	P1B Trip	P4	27 - P4 - 4 (0.6 MW)	0.6	10.80
			P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A (0.6 MW)	10.2	
4	Normal	STG Trip	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	19.92

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
			P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	7.5	
			P3B	SG71 - 3 - 1 (0.5 MW)	0.5	
			P2	17 - P2 - 7 (0.6)	0.6	
5	Normal	P2 & P3 Trip	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	18.60
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 35 - P2B - SWGR51A (0.6 MW)	7.6	
6	Normal	P2 & P1B Trip	P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW)	1.3	21.00
			STG	11 - STG - K03B (0.1 MW)	0.1	
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	2.1	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
			P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A-1 (0.6 MW) 36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	11	
7	Normal	STG & P2 Trip	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	30.12
			P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
			P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW) SG71 - 3 - 1 (0.5 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	4	
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	2.7	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
			P4	27 - P4 - 4 (0.6 MW)	0.6	
			P1B	28 - P1B - 2 (0.3) 32 - P1B - 8 (0.6 MW)	0.9	
8	Normal	P3 & P4 Trip	STG	11 - STG - K03B (0.1 MW)	0.1	20.60
			P2B	6 - STG - P2B (0.2 MW)	0.2	
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	9.3	
9	Normal	P3 & P1B Trip	STG	11 - STG - K03B (0.1 MW)	0.1	22.70
			P2B	6 - STG - P2B (0.2 MW)	0.1	
			P3B	SG71 - 3 -1 (0.5 MW)	0.5	
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
			P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW) 35 - P2B - SWGR51A-1 (0.6 MW) 36 - P1B - SWGR51A-2 (0.8 MW)	11	
10	Normal	STG & P3 Trip	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	31.62
			P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW)	3.9	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
11	P2 Off	P3 Trip	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	11.90
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	1.4	
			P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	3.8	
12	P2 Off	P1B Trip	P3B	SG71 - 3 -1 (0.5 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	1.9	14.10
			P3	19 - P3 - 2 (0.4 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	1.3	
			P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	6.4	
13	P2 Off	STG Trip	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	23.32

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
			P2	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
			P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	
14	P3 Off	P2 Trip	P3B	SG71 - 3 - 1 (0.5 MW)	0.5	10.00
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
			P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
			P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	6.4	
15	P3 Off	P4 Trip	P3B	SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	1.4	12.10
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
			P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
			P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW)	7.6	
16	P3 Off	P1B Trip	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	14.30
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	
			P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW)	7.6	
17	P3 Off	STG Trip	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9	11.32	23.32

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
				MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)		
			P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
			P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	
18	P1B Off	P2 Trip	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	10.30
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
			P1B	36 - P1B 0 SWGR51A-2 (0.8 MW)	0.8	
19	P1B Off	P4 Trip	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	12.40
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.8	
			P4	26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	3	
			P1B	36 - P1B - SWGR51A-2 (0.8 MW)	0.8	



Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
20	P1B Off	STG Trip	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 11 - STG - K03B (0.1 MW) 12 - STG - K07A (2 MW) 13 - STG - K06A (2.3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW) 15 - STG - K07B (0.02 MW)	11.32	23.32
			P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 2 - STG - P2B (2.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW) 8 - STG - P2B (2.7 MW)	9.9	
			P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW)	2.1	
21	STG Off	P2 Trip	P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW) SG71 - 3 - 1 (0.5 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	4	10.00
			P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6 MW)	0.7	
			P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW)	5.3	
22	STG Off	P4 Trip	P3	23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)	3.6	11.90
			P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	3.8	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
23	STG Off	P1B Trip	P3	20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.3	13.80
			P4	25 - P4 -2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
			P1B	29 - P1B - 3 (2.6 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW)	4	

### 3. Skenario D (Load Shedding Metode Frekuensi)

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding Stage	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
1	Normal	P2 Trip	1	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.70	6.80
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW) 24 - P3 -11 (0.5 MW)	5.80	
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3)	0.30	
2	Normal	P3 Trip	1	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2- 7 (0.6 MW)	0.70	6.50
				P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 20 - P3 - 3 (1.3 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22- P3 - 9 (0.2 MW) 23 - P3 - 10 (3.1 MW)	5.80	

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding Stage	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)
					24 - P3 -11 (0.5 MW)		
			2	P4	25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.50	9.10
				P1B	28 - P1B - 2 (0.3 MW) 30 - P1B - 5 (1.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW)	4.60	
3	Normal	P1B Trip	1	P1B	30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW) 32 - P1B - 8 (0.6 MW) 33 - P1B - 9 (1.2 MW) 34 - P1B - INTERMEDIATE (1.1 MW)	6.7	6.70
			1	STG	9 - STG - K02A (3 MW) 10 - STG - K03A (3 MW) 14 - STG - K06B (0.9 MW)	6.9	6.90
4	Normal	STG Trip			2		

Skema	Pola Operasi	Unit Trip	Load Shedding Stage	Location	Details CB	Actual Load Per-Feeder (MW)	Actual Load Total (MW)			
5	P2 Off	P3 Trip		P2B	1 - STG - P2B (0.4 MW) 3 - STG - P2B (1.1 MW) 4 - STG - P2B (0.9 MW) 5 - STG - P2B (1.5 MW) 6 - STG - P2B (0.2 MW) 7 - STG - P2B (0.7 MW)	4.8				
					3	P2B		8 - STG - P2B (2.7 MW)	2.7	3.90
						P3B		SG71 - 3 - 1 (0.5 MW)	0.5	
						P2		16 - P2 - 5 (0.1 MW) 17 - P2 - 7 (0.6)	0.7	
			1	P2	16 - P2 - 5 (0.1 MW)	0.1	6.50			
					P3	18 - P3 - 1 (0.1 MW) 19 - P3 - 2 (0.4 MW) 21 - P3 - 4 (0.2 MW) 22 - P3 - 9 (0.2 MW) 24 - P3 - 11 (0.5 MW)		1.4		
						P4		25 - P4 - 2 (1.5 MW) 26 - P4 - 3 (2.4 MW) 27 - P4 - 4 (0.6 MW)	4.5	
								P3B	SG71 - 3 - 1 (0.5 MW)	0.5
						2		P3B	SG71 - 2 - 1 (2.1 MW) SG61 - 7 - 1 (1.4 MW)	3.5
					P3				20 - P3 - 3 (1.3 MW)	1.3
P1B	30 - P1B - 5 (1.4 MW) 31 - P1B - 6 (2.4 MW)	3.8								

**Data Beban Plant PIII-B PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang**

**1. Load Amm PIII-B**

Equipment No.	Service	Volt	Rated Output	C	I	S
			kW	kW	kW	kW

SWGR SG-71						
107-JCM	Semi-Lean OASE solution pump	13,800	2,500	-	-	2,500
104-JAM	Boiler Feed Water (BFW) Pump	13,800	920	-	-	920
		<b>sub total =</b>		-	-	3,420
		<b>Total =</b>		342		
MCC - 71-A						
173-JM	LTS start up blower	2,300	430	-		430
107-JAM	Semi-Lean OASE solution pump	2,300	400	-		400
108-JM	Lean OASE Solution pump	2,300	1,400	1,400	-	
108-JAM	Lean OASE Solution pump	2,300	1,400	-	-	1,400
121-JM	Process condensate pump for 142-D1	2,300	140	140	-	-
121-JAM	Process condensate pump for 142-D1	2,300	140	-	-	140
		<b>sub total =</b>		<b>1,882</b>	-	<b>2,370</b>
		<b>Total =</b>		2,119		
MCC - 71						
110-JM	CO2 LP Flash reflux pump	440	93	93	-	-
111-JM	Oase Solution Transfer Pump	440	30	-		30
113-JM	Warm Ammonia Product pump	440	93	93	-	-
122-JM	Process condensate pump for 144-D	440	6	6	-	-
124-JM	Cold ammonia product pump	440	75	75	-	-
117-JM	Semi Lean Solution Circulation Pump		132	132		
1003-JM	OASE Chemical Waste Pump	440	2	2		-
160-JM	Amm Distillation Column Feed pump	440	7	7		-
161-JM	HP Ammonia Scrubber Feed Pump	440	22	22		-
1001-JM	Condensate Jacket Overflow Pump	440	2	2		-
101-B-D01	101-B Motor Damper	440	1			1
101-B-D01	101-B Motor Damper	440	1		-	1
101-B-D01	101-B Motor Damper	440	1		-	1
101-B-D01	101-B Motor Damper	440	1		-	1
101-B-F01	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
101-B-F02	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
101-B-F03	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
101-B-F04	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
101-B-F05	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
101-B-F06	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
101-B-F07	101-B Exhaust Fan	440	1	1	-	-
103-H1M	Feeder to Overhead Crane for Compressor House	440	23	-	23	-
104-HM	Feeder to Hoist for semi lean Solution pump	440	8	-	8	-
MCC-613	Feeder to MCC-613	440	460	460		-
		<b>sub total =</b>		<b>899</b>	<b>31</b>	<b>33</b>

<b>Total =</b>	<b>918</b>
----------------	------------

<b>MCC - 72</b>						
				-	-	-
110-JAM	CO2 LP Flash reflux pump	440	93	-	-	93
113-JAM	Warm Ammonia Product pump	440	93	-	-	93
115-JM	OASE Sump pump	440	22	-	-	22
120-JM	Ammonia injection pump	440	22	-	-	22
122-JAM	Process condensate pump for 144-D	440	6	-	-	6
124-JAM	Cold ammonia product pump	440	75	-	-	75
117-JAM	Semi Lean Solution Circulation Pump		132			132
1002-JM	Oily Water Pump	440	2			2
1003-JAM	OASE Chemical Waste Pump	440	2			2
160-JAM	Amm Distillation Column Feed pump	440	7			7
161-JAM	HP Ammonia Scrubber Feed Pump	440	22			22
1001-JAM	Condensate Jacket Overflow Pump	440	2			2
110-LM	OASE Solution Mixer	440	1			1
103-H2M	Feeder to Overhead Crane for Compressor House	440	30	-	30	-
61-TR-01	Feeder to 480V/400V Lighting Transformer for Amm	440	180	-	180	-
61-JBWO-01	Feeder to Junction Box W Outlet for Ammonia - 1	440	80	-	80	-
61-JBWO-02	Feeder to Junction Box W Outlet for Ammonia - 2	440	80	-	80	-
61-JBWO-03	Feeder to Junction Box W Outlet for Ammonia - 3	440	80	-	80	-
			<b>sub total =</b>	<b>-</b>	<b>450</b>	<b>482</b>
			<b>Total =</b>		<b>273</b>	
<b>MCE - 713</b>						
118-JM	Condensate pump for 101 JTC	440	110	110	-	-
118-JAM	Condensate pump for 101 JTC	440	110	-	-	110
119-JM	Condensate pump for 102 JTC	440	22	22	-	-
119-JAM	Condensate pump for 102 JTC	440	22	-	-	22
123-JM	Condensate pump for 103 JTC	440	30	30	-	-
123-JAM	Condensate pump for 103 JTC	440	30	-	-	30
101-BJLOM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( ID Fan) 101-BJ	440	4	4	-	-
101-BJLOAM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( ID Fan) 101-BJ	440	4	-	-	4
101-BJALOM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( ID Fan) 101-BJA	440	4	4	-	-
101-BJALOAM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( ID Fan) 101-BJA	440	4	-	-	4
101-BJ1LOM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( FD Fan) 101-BJ1	440	4	4	-	-
101-BJ1LOAM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( FD Fan) 101-BJ1	440	4	-	-	4
101-BJ1ALOM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( FD Fan) 101-BJ1A	440	4	4	-	-
101-BJ1ALOAM	Lube Oil Unit for fan & turbine ( FD Fan) 101-BJ1A	440	4	-	-	4
131-JXLOM	LO Unit for Purifier Expander 131-JX	440	18.5	18.5	-	-
131-JXLOAM	LO Unit for Purifier Expander 131-JX	440	18.5	-	-	18.5

104-JALOM	LO Unit for BFW pump & turbine 104-JA	440	4	-	-	4
104-JBLOM	LO Unit for BFW pump & turbine 104-JB	440	4	-	-	4
104-JCLOM	LO Unit for BFW pump & turbine 104-JC	440	4	4		
108-JLOM	LO Unit for Lean OASE pump 108-J	440	4	-		4
108-JALOM	LO Unit for Lean OASE pump 108-JA	440	4	4		
107-JALOM	LO Unit for Semi Lean OASE Pump 107-JA	440	6	-		6
107-JBLOM	LO Unit for Semi Lean OASE Pump 107-JB	440	8	-		8
107-JCLOM	LO Unit for Semi Lean OASE Pump 107-JC	440	6	6		
101-JTGM	Turning Gear Electric Motor for 101-J/JT	440	1	-		1
102-JTGM	Barring Gear Electric Motor for 102-J/JT	440	1	-		1
103-JTGM	Barring Gear Electric Motor for 103-J/JT	440	1	-		1
105-JTGM	Barring Gear Electric Motor for 105-J/JT	440	1	-		1
101-JCDM	Cool-down Electric Motor for 101-J/JT	440	8	-		8
103-JCDM	Cool-down Electric Motor for 103-J/JT	440	2	-		2
101-JLOM	Standby Lube Oil Pump for 101-J/JT	440	110	110		
101-JALOM	Standby Lube Oil Pump for 101-J/JT	440	110	-		110
101-JOCM	Oil Clarifier Trolley Electric Motor for 101-J/JT	440	2	-		2
103-JOCM	Oil Clarifier Trolley Electric Motor for 103-J/JT	440	2	-		2
103-JLOM	Standby Lube Oil Pump for 103-J/JT	440	140	140		
103-JALOM	Standby Lube Oil Pump for 103-J/JT	440	140	-		140
106-L	Feeder to Oxygen scavenger injection package	440	4	4		-
107-L	Feeder to PH control injection package	440	4	4		-
108-L	Feeder to Phospate injection package	440	4	4		-
109-L	Feeder to OASE Anti foam injection package	440	1	1		-
107-JAH01	LO heater for Semi Lean OASE Pump 107-JA	440	3	-		3
107-JBH01	LO heater for Semi Lean OASE Pump 107-JB	440	3	-		3
107-JCH01	LO heater for Semi Lean OASE Pump 107-JC	440	2	-		2
108-JH01	LO heater for Lean OASE Pump 108-J	440	2			2
108-JAH01	LO heater for Lean OASE Pump 108-JA	440	2			2
101-JB	Oil Reservoir Electric Heater for 101-J/JT	440	17			17
103-JB	Oil Reservoir Electric Heater for 103-J/JT	440	16			16
131-JXH01	Oil heater for Purifier Expander 131-JX	440	4			4
MOV-1005	Feeder to MOV for (gate type) / Suct. CO2 Absorber	440	1			1
MOV-1007	Feeder to MOV for (gate type) / Outlet LTS 104 D2B	440	1			1
MOV-1008	Feeder to MOV for (trunnion ball) / Suct.HTS 104 D2A	440	1			1
MOV-1009	Feeder to MOV for (gate type) / by Pass LTS	440	1			1
MOV-1011	Feeder to MOV for (gate type) / Suction 114C	440	1	-		1
MOV-1015	Feeder to MOV for (trunnion ball) / Outlet 109 DA	440	1	-		1
MOV-1016	Feeder to MOV for (trunnion ball) / Outlet 109 DB	440	1	-		1
MOV-1017	Feeder to MOV for (trunnion ball) / Inlet 109 DA	440	1	-		1
MOV-1018	Feeder to MOV for (trunnion ball) / Inlet 109 DB	440	1	-		1

MOV-1104	Feeder to MOV-1104	440	1	-		1
MOV-1051	Feeder to MOV for (gate type) / Inlet 132 C	440	1	-		1
MOV-1052	Feeder to MOV for (gate type) / By pass 132 C	440	1	-		1
MOV-1053	Feeder to MOV for (gate type) / Out let 132 C	440	1	-		1
MOV-1019	Feeder to MOV for 101-BJ	440	1			1
MOV-1119	Feeder to MOV for 101-BJ1	440	1			1
MOV-1185A	Feeder to MOV for 101-BJA	440	1			1
MOV-1185B	Feeder to MOV for 101-BJ1A	440	1			1
61-TRE-01	Feeder to Emerg Lighting & Recept Trafo Amm - 1	440	40	40	-	-
FA-MS-01	Fire Alarm Motor Sirine	440	8		-	8
64-UPS-03BP	Feeder to 64-UPS-03 Bypass	440	64	-	64	
HVAC-AH	Feeder to HVAC for analyzer house	440	14	14	-	
		<b>sub total =</b>		<b>525</b>	<b>64</b>	<b>559</b>
		<b>Total =</b>		<b>613</b>		
<b>Total Load Normal Ammonia P-3B</b>				<b>4,265</b>		

## 2. Urea PIII-B



Equipment No.	Service	Volt	Rated Output	C	I	S
			kW	kW	kW	kW
<b>MCC-78</b>						
U - GA101AM	- Ammonia Feed Pump	2,300	1,400.0	1,400.0		-
U - GA101BM	- Ammonia Feed Pump	2,300	1,400.0			1,400.0
U - GA102AM	- Carbamate Feed Pump	2,300	904.0	904.0		-
U - GA102BM	- Carbamate Feed Pump	2,300	904.0			904.0
U - GA204AM	- Molten Urea Pump	2,300	204.0	204.0		-
U - GA204BM	- Molten Urea Pump	2,300	204.0			204.0
U - GA301AM	- Circulation pump for dust recovery	2,300	255.0	255.0		-
U - GA301BM	- Circulation pump for dust recovery	2,300	255.0			255.0
U - GA502AM	- Urea hydrolizer feed pump	2,300	191.0	191.0		-
U - GA502BM	- Urea hydrolizer feed pump	2,300	191.0			191.0
			<b>sub total =</b>	<b>2,954.0</b>	<b>-</b>	<b>2,954.0</b>
			<b>Total =</b>	<b>3,249</b>		
<b>MCC -711</b>						
U - GA103AM	- Ammonia boost-up pump	440	96.0	96.0		
U - GA103BM	- Ammonia boost-up pump	440	96.0			96.0
U - GA201AM	- Urea solution pump	440	70.0	70.0		
U - GA201BM	- Urea solution pump	440	70.0			70.0
U - GA302AM	- Dissolving tank pump	440	7.0	7.0		
U - GA302BM	- Dissolving tank pump	440	7.0			7.0
U - GA303AM	- Water pump for Prilling tower	440	96.0	96.0		
U - GA303BM	- Water pump for Prilling tower	440	96.0			96.0
U - GA304M	- Portable water pump	440	20.0			20.0
U - GA401AM	- Carbamate boost-up pump	440	70.0	70.0		
U - GA401BM	- Carbamate boost-up pump	440	70.0			70.0
U - GA402AM	- HP Absorbent pump	440	115.0	115.0		
U - GA402BM	- HP Absorbent pump	440	115.0			115.0
U - GA403M	- Carbonate solution pump	440	10.0	10.0		
U - GA404AM	- No. 2 HP Absorbent pump	440	39.0	39.0		
U - GA404BM	- No. 2 HP Absorbent pump	440	39.0			39.0
U - GA405AM	- Tempered water pump	440	39.0	39.0		
U - GA405BM	- Tempered water pump	440	39.0			39.0
U - GA501AM	- Process Condensate pump	440	115.0	115.0		
U - GA501BM	- Process Condensate pump	440	115.0			115.0
U - GA503AM	- LP Absorbent pump	440	48.0	48.0		
U - GA503BM	- LP Absorbent pump	440	48.0			48.0
U - GA504M	- Drain recovery pump	440	7.0	7.0		
U - GA703M	- Oily water pump	440	7.0	7.0		
U - GA704M	- Effluent water pump	440	7.0	7.0		
U - GB301AM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0		

U - GB301BM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0			
U - GB301CM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0			
U - GB301DM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0			
U - GB301EM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0			
U - GB301FM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0			
U - GB301GM	- Induced fan for Prilling tower	440	70.0	70.0			
U - GB701M	- N2 Compresor	440	39.0	39.0			
U - GD302M	- Agitator for dissolving tank	440	6.0	6.0			
U - JC302	- Lifting device for U-GB301	440	20.0			20.0	
U - JD301	- Belt conveyor for product	440	14.0	14.0			
U - JW301	- Belt scale	440	7.0	7.0			
U - JJ301	- Rotary scrapper	440	24.0	24.0			
U - JJ301	- Rotary scrapper	440	24.0			24.0	
U - FJ301	- Prilling device	440	8.0	8.0			
JC - 301 N	- Elevator amachine room for prilling tower (normal)	440	23.0	23.0			
00 - HVAC - 02N	- HVAC for operator house urea (normal)	440	13.0			13.0	
02 - TR - 324	- Feeder to lighting transformer A (normal) - urea	440	153.4		153.4		
02 - TR - 325	- Feeder to lighting transformer B (normal) - urea	440	102.0		102.0		
MCC - 514	- Feeder to MCC - 614	440	635.0		635.0		
				<b>sub total =</b>	<b>1,337.0</b>	<b>890.4</b>	<b>772.0</b>
				<b>Total =</b>	<b>1,859</b>		

#### MCC-714

U - GA104AM	- Low pressure flooding pump	440	115.0	115.0			
U - GA104BM	- Low pressure flooding pump	440	115.0			115.0	
U - GA105AM	- High pressure flooding pump	440	28.0	28.0			
U - GA105BM	- High pressure flooding pump	440	28.0			28.0	
U - GA106AM	- Steam condensate pump	440	28.0	28.0			
U - GA106BM	- Steam condensate pump	440	28.0			28.0	
U - GA107AM	- Return condensate pump	440	28.0	28.0			
U - GA107BM	- Return condensate pump	440	28.0			28.0	
U - GA109AM	- Steam condensate circulation pump	440	172.0	172.0			
U - GA109BM	- Steam condensate circulation pump	440	172.0			172.0	
U - GA110AM	- Steam condensate make-up pump	440	39.0	39.0			
U - GA110BM	- Steam condensate make-up pump	440	39.0			39.0	
U - GA121AM	- Sealing water pump	440	96.0	96.0			
U - GA121BM	- Sealing water pump	440	96.0			96.0	
U - GA101LAM	- LO unit for ammonia feed pump	440	7.0	7.0			
U - GA101LBM	- LO unit for ammonia feed pump	440	7.0			7.0	
U - GA102LAM	- LO unit for carbamate feed pump	440	7.0	7.0			
U - GA102LBM	- LO unit for carbamate feed pump	440	7.0			7.0	
U - GB101-GA1-AM	- Lube oil pump for GB 101	440	115.0	115.0			
U - GB101-GA1-BM	- Lube oil pump for GB 101	440	115			115.0	
U - GB101 - GA2M	- Barring gear pump for GT101	440	5		5	5	
U - JE101	- Crane for pump shelter	440	26		26	26	
U - JE151	- Crane for compressor house	440	42		42	42	
JC - 301 E	- Elevator amachine room for prilling twr (emerg)	440	18	-	18	18	
UPS (2)	- Feeder to UPS (2)	440	120	120		-	
				<b>sub total =</b>	<b>755.0</b>	<b>91.0</b>	<b>726.0</b>

<b>Total =</b>	873
----------------	-----

<b>Total Load Normal Ammonia P-3B</b>	5,982
---------------------------------------	-------

### 3. Load UOA PIII-B

Equip No.	Service	Volt	Rated Output	C	I	S
			kW	kW	kW	kW
<b>SGWR SG -71</b>						
6209-JCM	CW Pump for Amm-Utility	13,800	2,100	2,100	-	-
		<b>sub total =</b>		<b>2,100</b>	-	-
		<b>Total =</b>		<b>2,100</b>		
<b>MCC - 73</b>						
6204-UJAM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	182	-	-
6204-UJCM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	182	-	-
6204-UJEM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	182	-	-
6601-UJAM	CT Fan for Urea	2,300	120	120	-	-
6601-UJCM	CT Fan for Urea	2,300	120	120	-	-
6211-JAM	Emergency CW Pump	2,300	256	-	-	256
		<b>sub total =</b>		<b>786</b>	-	256
		<b>Total =</b>		<b>812</b>		
<b>MCC - 74</b>						
6204-UJBM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	182	-	-
6204-UJDM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	182	-	-
6204-UJFM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	182	-	-
6204-UJGM	CT Fan for Ammonia & Utility	2,300	182	-	-	182
6601-UJBM	CT Fan for Urea	2,300	120	120	-	-
6601-UJDM	CT Fan for Urea	2,300	120	120	-	-
6601-UJEM	CT Fan for Urea	2,300	120	-	-	120
6211-JBM	Emergency CW Pump	2,300	256	-	-	256
		<b>sub total =</b>		<b>786</b>	-	558
		<b>Total =</b>		<b>842</b>		
<b>MCC - 79</b>						
6201-JAM	River water intake pump	2,300	324	-	-	324
6201-JBM	River water intake pump	2,300	424	324	-	-
6501-JAM	Main Fire Water pump	2,300	221	221	-	-
OEP-SW2	Feeder to OEP	2,300	850	850	-	-

				<b>sub total =</b>	1,395	-	324
				<b>Total =</b>	1,427		
<b>MCC - 712</b>							
6102-JM	Ammonia Loading Pump	2,300	230				230
6004-JAM	Emergency Air Compressor	2,300	415				415
6103-LM	Ammonia Refrigeration Unit	2,300	411	411			
6101-JAM	Ammonia transfer pump	2,300	179				179
6101-JBM	Ammonia transfer pump	2,300	179				179
6001-JBM	Demin water pump	2,300	228				228
6203-JAM	Clarified Water Pump	2,300	157	157			
6203-JBM	Clarified Water Pump	2,300	156	156			
6203-JCM	Clarified Water Pump	2,300	156				156
6601-JAM	CW Pump for Urea	2,300	1,252	1,252			
6601-JBM	CW Pump for Urea	2,300	1,252	1,252			
6601-JCM	CW Pump for Urea	2,300	1,252				1,252
5003-J	<b>BFW</b>	<b>2,300</b>	<b>550</b>	<b>550</b>			
	ASP Compressor	2,300	450	450			
				<b>sub total =</b>	<b>4,228</b>	<b>-</b>	<b>2,639</b>
				<b>Total =</b>	<b>4,492</b>		
<b>MCC - 75</b>							
6204-JAM	Filtered water pump	440	103	103	-		-
6204-JBM	Filtered water pump	440	103	-	-		103
6207-JAM	Potable Water Pump	440	99	99	-		-
6207-JBM	Potable Water Pump	440	99	-	-		99
6202-JAM	Backwash Pump for PSF	440	99	99			-
6202-JBM	Backwash Pump for PSF	440	99	-			99
6208-JAM	Backwash Pump for ACF	440	31	31			-
6208-JBM	Backwash Pump for ACF	440	31	-			31
6200-JAM	Backwash Water Recovery Pump	440	10	10			
6200-JBM	Backwash Water Recovery Pump	440	10				10
6206-JAM	UF Backpulse pump	440	67	67			
6206-JBM	UF Backpulse pump	440	67				67
6002-JAM	Regeneration Pump	440	17	17			
6002-JBM	Regeneration Pump	440	17				17
6402-JAM	Waste water pump	440	9	9			
6402-JBM	Waste water pump	440	9				9
6008-JAM	NaOH Transfer Pump	440	6	6			
6008-JBM	NaOH Transfer Pump	440	6				6
6009-JAM	H2SO4 Transfer Pump	440	5	5			

6009-JBM	H2SO4 Transfer Pump	440	5			5
6010-JAM	Coagulant Transfer Pump	440	4	4		
6010-JBM	Coagulant Transfer Pump	440	4			4
6005-JAM	NaOH Feed Pump	440	4	4		
6005-JBM	NaOH Feed Pump	440	4			4
6008-UJM	Agitator for NaOH dissolving tank	440	1	1		
6207-UJM	Agitator for coagulant dissolving tank	440	2	2		
6201-J1AM	NaOH Dosing Pump	440	1	1		
6201-J1BM	NaOH Dosing Pump	440	1			1
6201-J4AM	Al2(SO4)3 Dosing Pump	440	1	1		
6201-J4BM	Al2(SO4)3 Dosing Pump	440	1			1
6201-J5AM	Polymer Dosing pump	440	1	1		
6201-J5BM	Polymer Dosing pump	440	1			1
6201-UJ5M	Polymer preparation tank agitator	440	2	2		
6405-JAM	Amm stripper feed pump	440	14			14
6405-JBM	Amm stripper feed pump	440	14	14		
6406-JAM	Check Pit Pump	440	12			12
6406-JBM	Check Pit Pump	440	12	12		
6201-UJM	Agitator for Clarifier	440	7	7		
6202-UJAM	Air scour blower for SF	440	29	29		
6202-UJBM	Air scour blower for SF	440	29			29
6210-J1AM	Anti scalant dosing pump	440	1	1		
6210-J1BM	Anti scalant dosing pump	440	1			1
6210-JAM	RO-1 HP Pump	440	92	92		
6210-JBM	RO-1 HP Pump	440	92			92
6210-J2AM	EC-503 dosing pump	440	1	1		
6210-J2BM	EC-503 dosing pump	440	1			1
6210-J3AM	Slime inhibitor dosing pump	440	1	1		
6210-J3BM	Slime inhibitor dosing pump	440	1			1
6210-J5AM	CIP pump	440	16	16		
6210-J5BM	CIP pump	440	16			16
6006-JAM	Air Blower for MBP	440	10	10		
6006-JBM	Air Blower for MBP	440	10			10
6203-J1AM	NaOCl dosing pump	440	1	1		
6203-J1BM	NaOCl dosing pump	440	1			1
6203-J2AM	H2SO4 dosing pump	440	1	1		
6203-J2BM	H2SO4 dosing pump	440	1			1
6203-J3AM	NaOCl dosing pump	440	1	1		
6203-J3BM	NaOCl dosing pump	440	1			1
6203-UJM	NaOCl Tank Agitator	440	1	1		
55-6808-VM	Urea prill conveyor	440	23	23		

55-6809-VM	Urea prill conveyor	440	45	45		
55-6911-VM	Urea prill conveyor	440	9	9		
U-JDM301	Urea prill conveyor	440	36	36		
6205-FD	Feeder to Chemical Dosing Cooling Tower	440	5	5	-	-
6201-J2AM	Feeder to Booster P for Gas Chlorine Dosing Unit-A	440	2	2	-	-
6201-J2BM	Feeder to Booster P for Gas Chlorine Dosing Unit-B	440	2	2	-	
6103-LH01	Feeder to Oil Separator Heater 6103-L	440	1	1	-	
6209-JH01	Feeder to Reservoir Immersion Heater 6209-J	440	3	3	-	
63-TR-01	Feeder 480V/400V Lighting Transformer for Utility	440	292	-	292	-
63-JBWO-01	Feeder to Junction Box Welding Outlet for Utility - 1	440	43	-	43	-
63-JBWO-02	Feeder to Junction Box Welding Outlet for Utility - 2	440	43	-	43	-
63-JBWO-03	Feeder to Junction Box Welding Outlet for Utility - 3	440	43	-	43	-
63-JBWO-04	Feeder to Junction Box Welding Outlet for Utility - 4	440	43	-	43	-
MCE-615	Feeder to MCE-615	440	100	100	-	-
GA-801 A	Methanator Feed Pump	440	6	6		
GA-801 B	Methanator Feed Pump	440	6			6
GB-801	Recirculation Blower	440	350	350		
GA-802A	Oil Circulation Pump	440	6			6
GA-802B	Oil Circulation Pump	440	6	6		
GA-803A	Absorber Top Circulation Pump	440	15			15
GA-803B	Absorber Top Circulation Pump	440	15	15		
GA-804A	Absorber Circulation Pump	440	11			11
GA-804B	Absorber Circulation Pump	440	11	11		
GA-805A	Product Circulation Pump	440	22			22
GA-805B	Product Circulation Pump	440	22	22		
GA-806A	Urea Solution Pump	440	15			15
GA-806B	Urea Solution Pump	440	15	15		
GA-807A	BFW Pumps	440	22			22
GA-807B	BFW Pumps	440	22	22		
GA-808	Oil Start Up Pump	440	6	6		
GA-809A	NAOH Dossing Pump	440	4	4		
GA-809B	NAOH Dossing Pump	440	4	4		
GA-809C	NAOH Dossing Pump	440	4			4
CE-809	NAOH Agitator	440	0	0		
CE-810	Phospate Dossing Unit	440	0	0		
GA-810A	Phospate Dossing Pump	440	4	4		
GA-810B	Phospate Dossing Pump	440	4			4
CE-811	Amine Dosing unit	440	0	0		
GA-811 A	Amine Dosing pump	440	4	4		
GA-811 B	Amine Dosing pump	440	4			4
GA-812 A	Effluent Pumps	440	6	6		

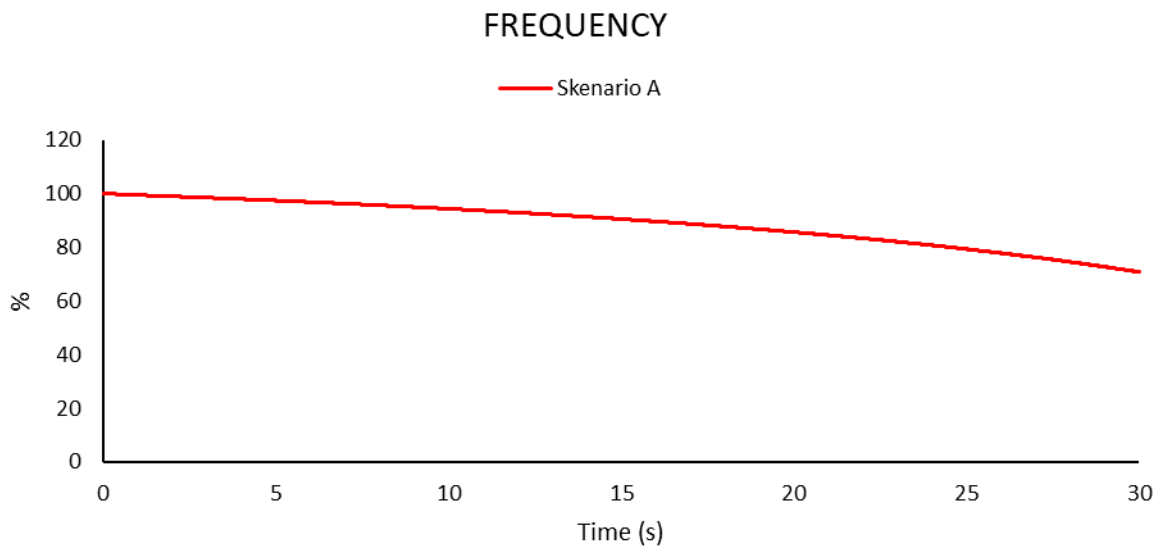
GA-812 B	Effluent Pumps	440	6			6
GA-813	Offspect Pumps	440	6	6		
		<b>sub total =</b>		<b>1,355</b>	<b>464</b>	<b>750</b>
		<b>Total =</b>		<b>1,662</b>		
<b>MCE - 710</b>						
6209-JLOAM	LO Pump for CW Pump Turbine	440	5	5	-	-
6209-JLOBM	LO Pump for CW Pump Turbine	440	5	-	-	5
6103-JLOAM	Oil Pump for Ammonia Refrigeration Package	440	4	4	-	-
6103-JLOBM	Oil Pump for Ammonia Refrigeration Package	440	4	-	-	4
6004-JLOAM	Oil Pump for Emergency Air Compressor	440	2	2		-
6004-JLOBM	Oil Pump for Emergency Air Compressor	440	2	-		2
6003-JAM	Condensate transfer pump	440	95	95	-	-
6003-JBM	Condensate transfer pump	440	95	-	-	95
6000-JAM	Surface condenser pump	440	14	14	-	-
6000-JBM	Surface condenser pump	440	14	-	-	14
6502-JAM	Feeder for Jockey Pump	440	15	15		-
6502-JBM	Feeder for Jockey Pump	440	15	-	-	15
64-HVAC-01	Feeder to HVAC	440	200		200	
64-HVAC-02	Feeder to HVAC Main Control Building	440	200		200	
MOV-3001	Feeder to MOV for UoA	440	2		2	
64-UPS-01BP	Feeder to 64-UPS-01 Bypass	440	96			96
64-UPS-03	Feeder for 64-UPS-03	440	64	64		
64-BC-01	Feeder to Battery Charger 64-BC-01	440	12	12		
64-TR-01	Feeder to Space heater transformer	440	28	28		
64-TR-02	Feeder to Instrument Distribution Transformer	440	16	16		
		<b>sub total =</b>		<b>254</b>	<b>402</b>	<b>230</b>
		<b>Total =</b>		<b>478</b>		
<b>MCE - 715</b>						
64-UPS-02	Feeder to 64-UPS-02	440	48	48	-	-
63-BC-01	Feeder to Battery Charger 63-BC-01	440	4	4	-	-
63-TRE-01	Emerg Lighting and Recept transformer Utility - 1	440	12	12	-	-
63-TRE-02	Emerg Lighting and Recep transformer Utility - 2	440	12	12	-	-
64-TRE-01	Emerg Lighting and Recep transformer Substation - 1	440	2	2	-	-
64-TRE-02	Emerg Lighting and Recept transformer Substation - 2	440	16	16	-	-
6205-JAM	Cooling Water Make-up Pump	440	113	113		
6205-JBM	Cooling Water Make-up Pump	440	113			113
		<b>sub total =</b>		<b>207</b>	<b>-</b>	<b>113</b>
		<b>Total =</b>		<b>218</b>		
<b>MCC - 07</b>						

	Lump Load Conv	440	500	500		
		sub total =		500	-	-
		Total =		500		
MCC - 08						
	Lump Load Conv	440	500		500	
		sub total =		-	500	-
		Total =		250		
Total Load Normal UOA P-3B				12,781		

**Plotting Hasil Simulasi Per Skenario Per Kejadian Trip**

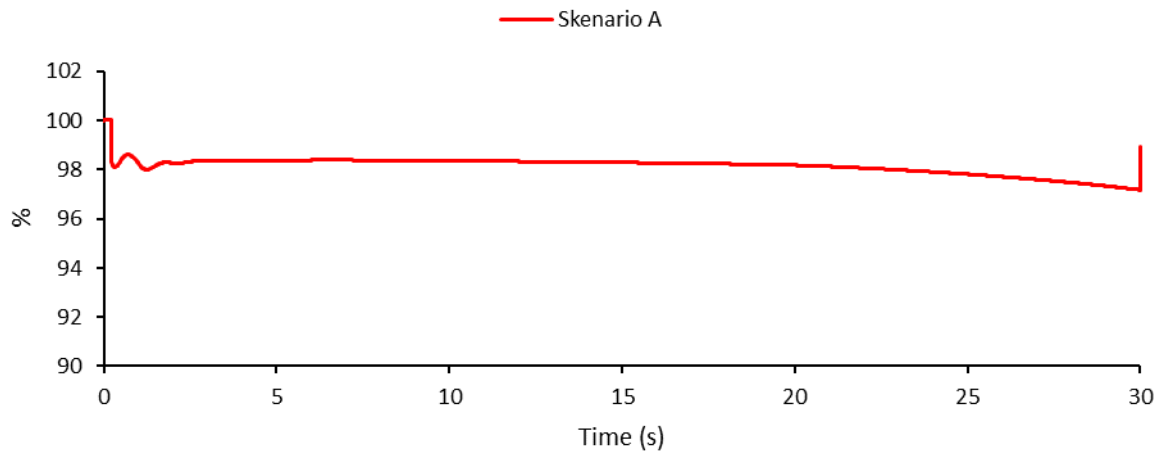
**Skenario A: Tanpa Load Shedding**

- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

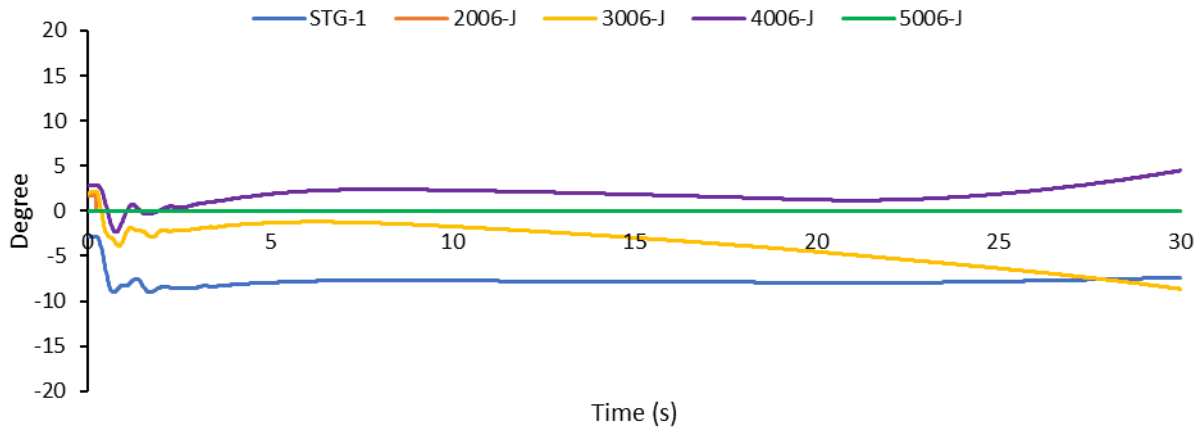




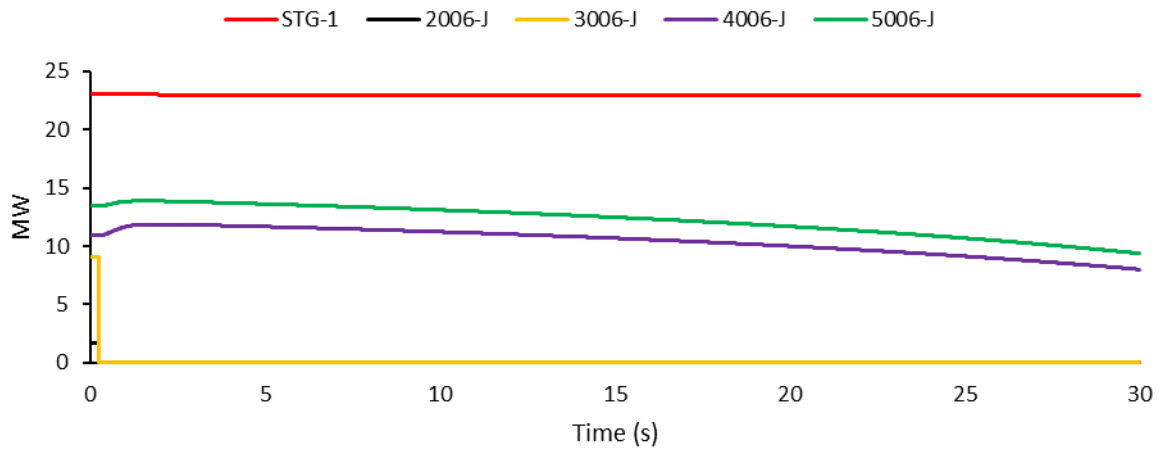
## VOLTAGE



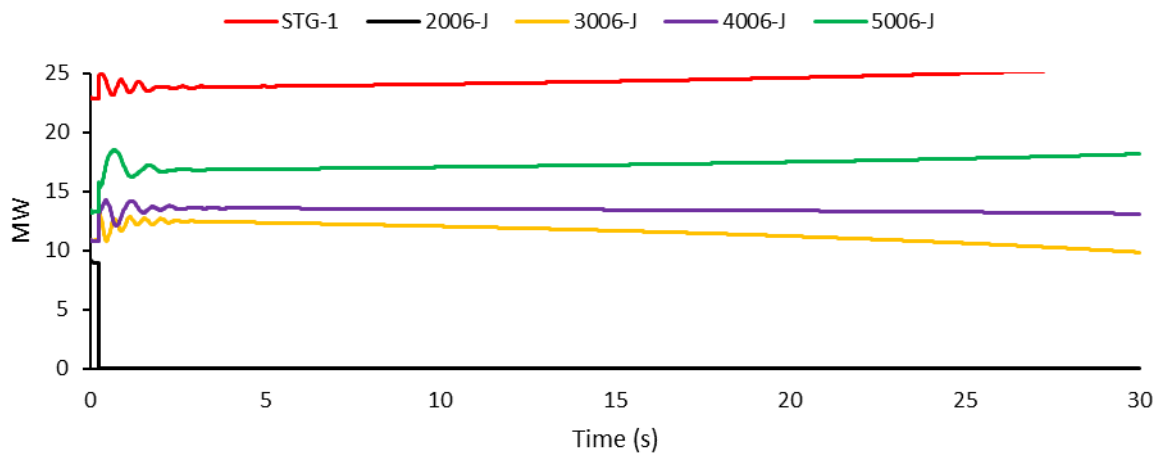
## POWER ANGLE (SKENARIO A)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO A)

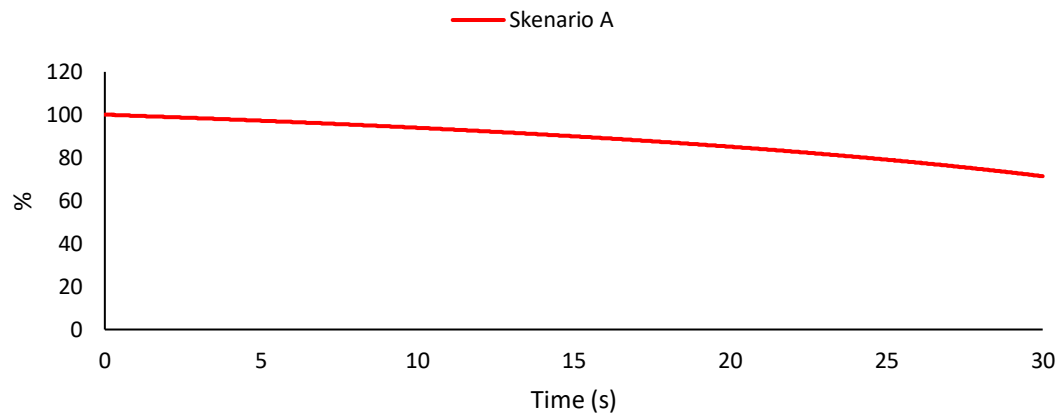


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO A)

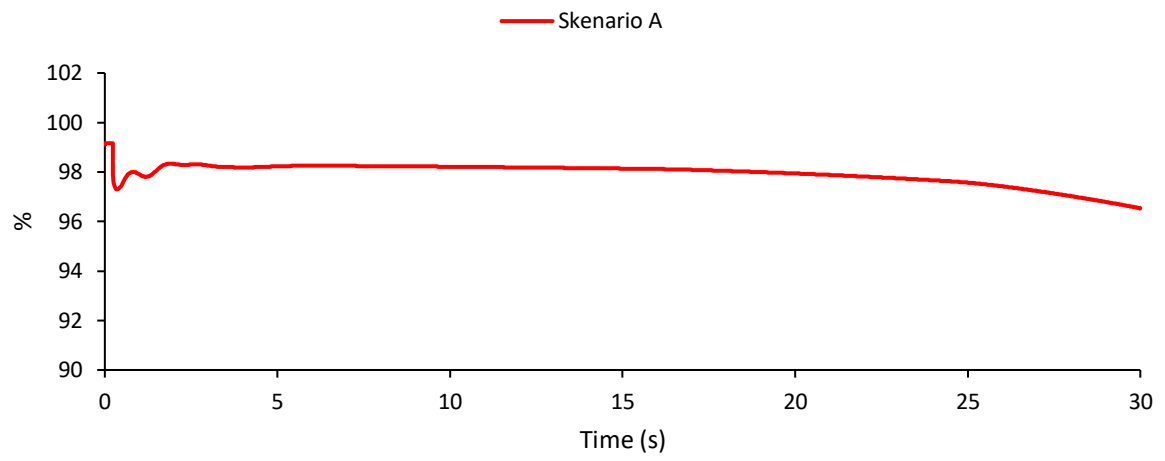


- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P3 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

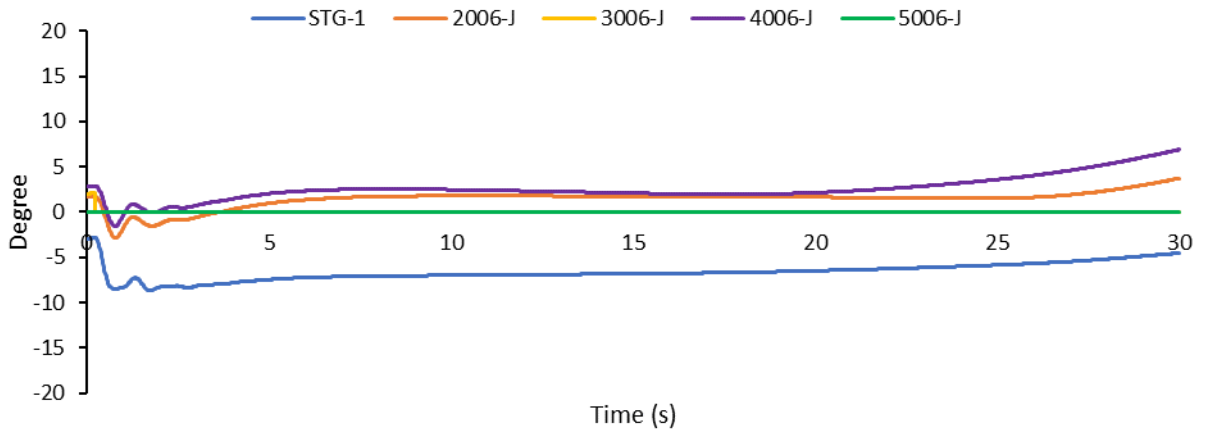
## FREQUENCY



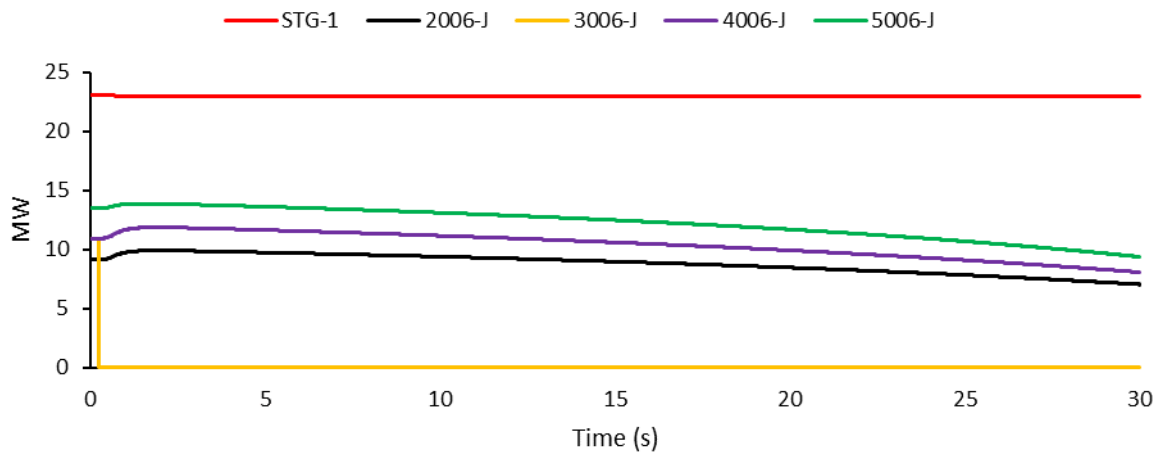
## VOLTAGE



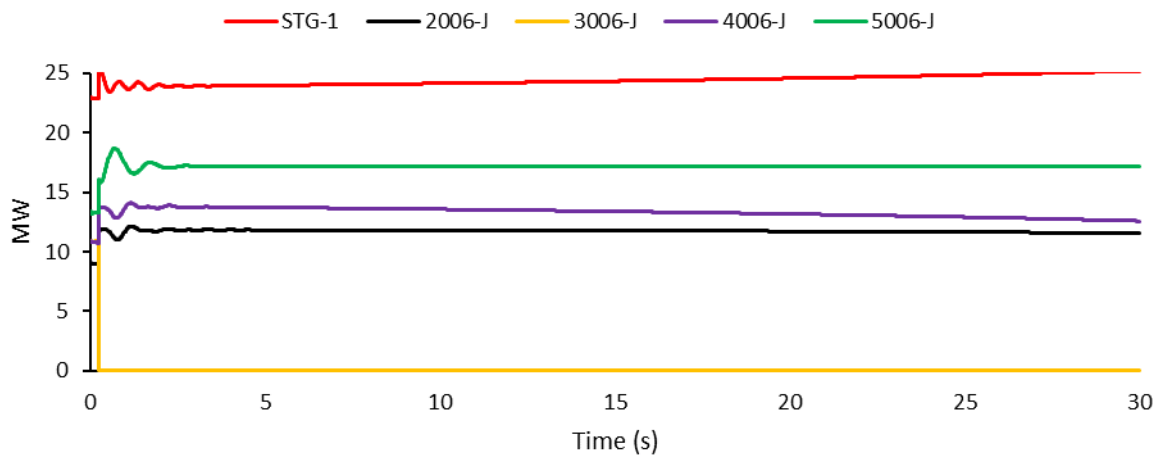
### POWER ANGLE (SKENARIO A)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO A)

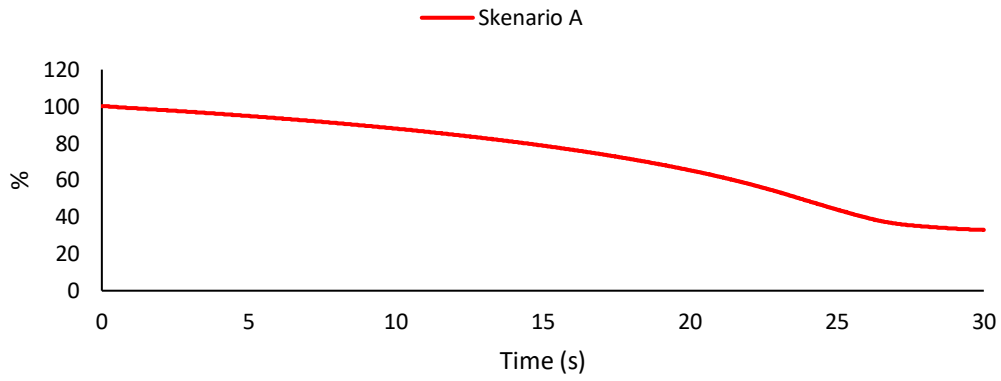


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO A)

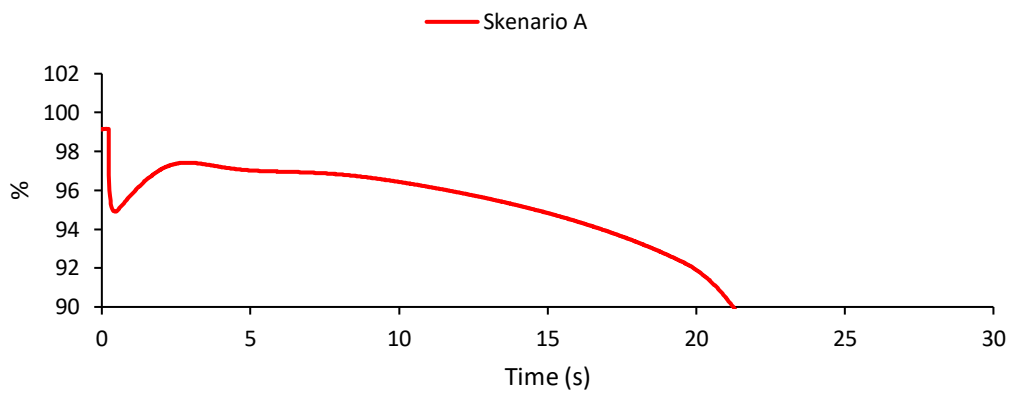


- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*

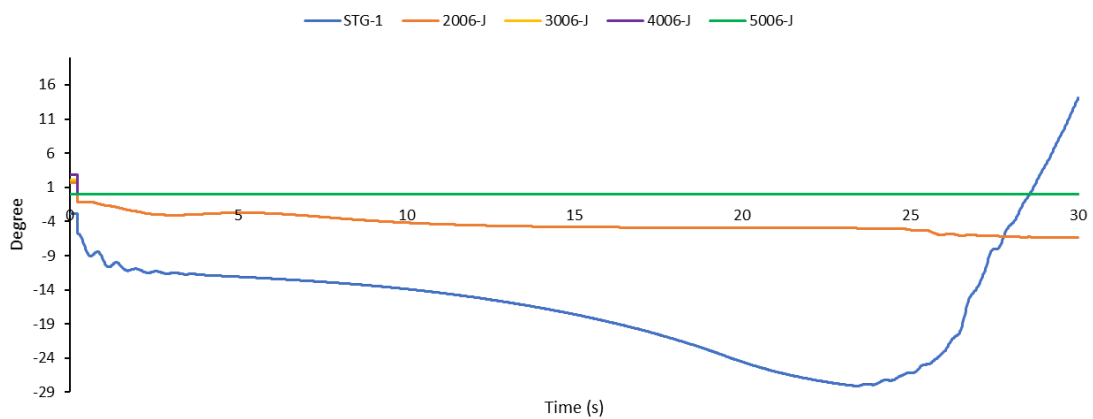
### FREQUENCY



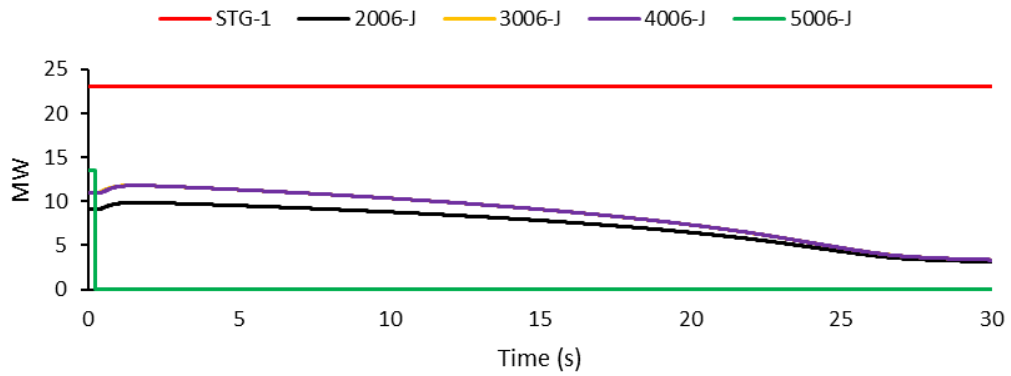
### VOLTAGE



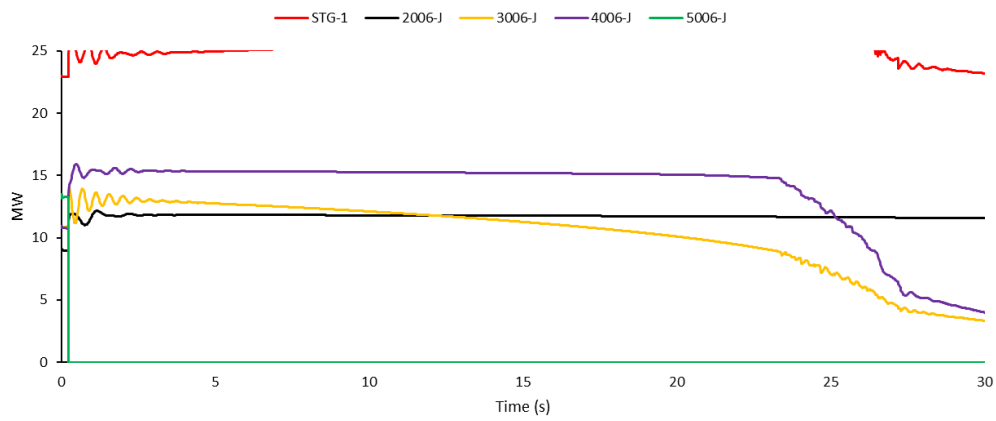
### POWER ANGLE (SKENARIO A)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO A)

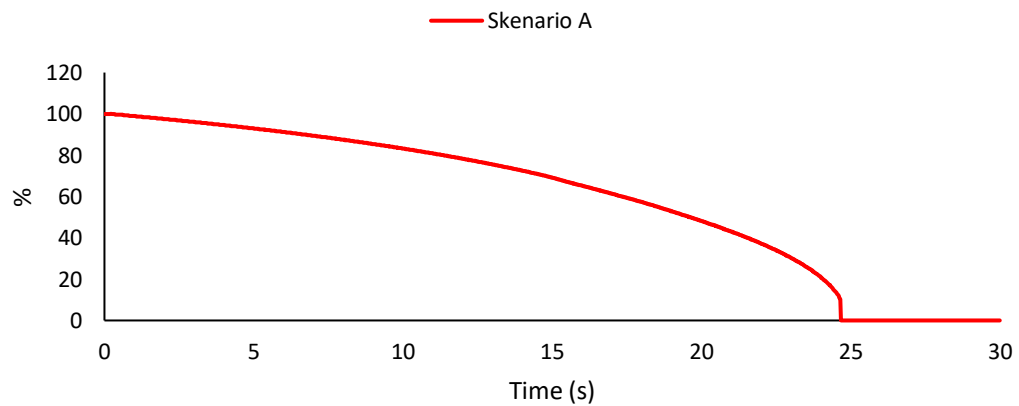


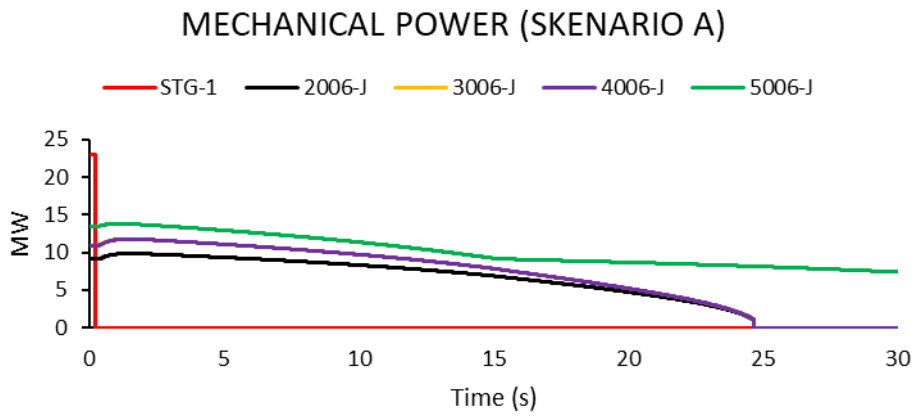
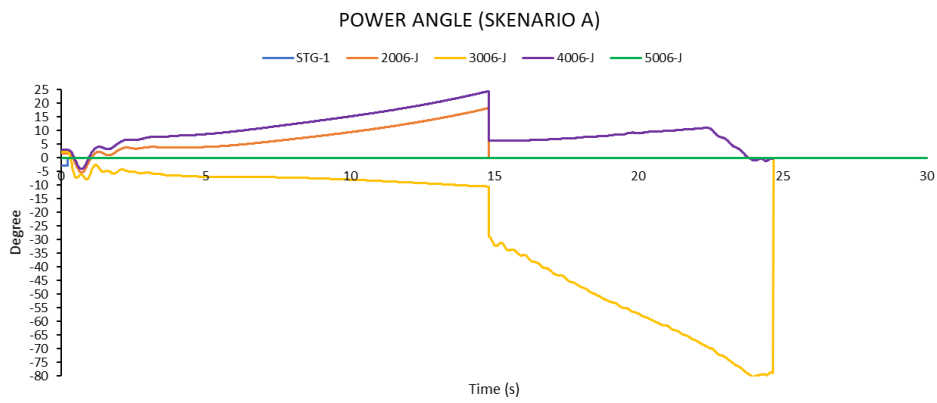
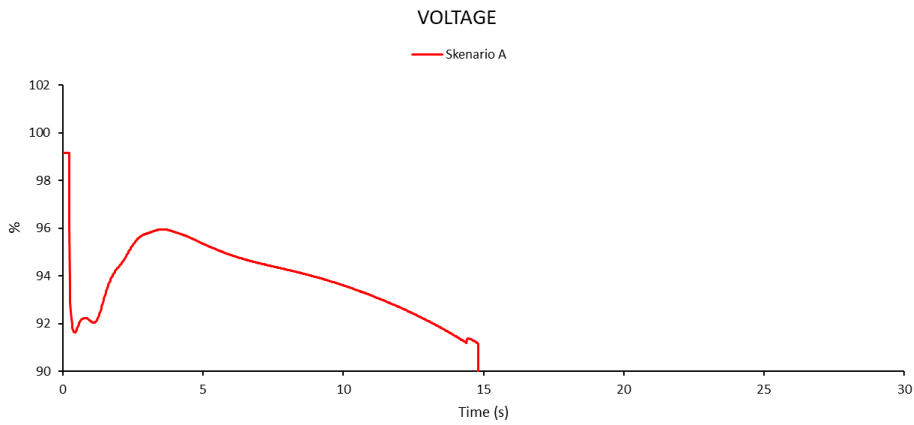
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO A)

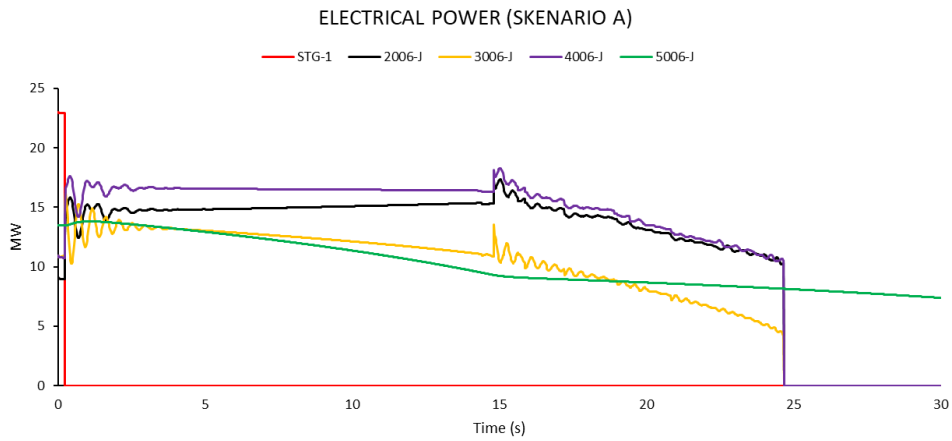


- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*

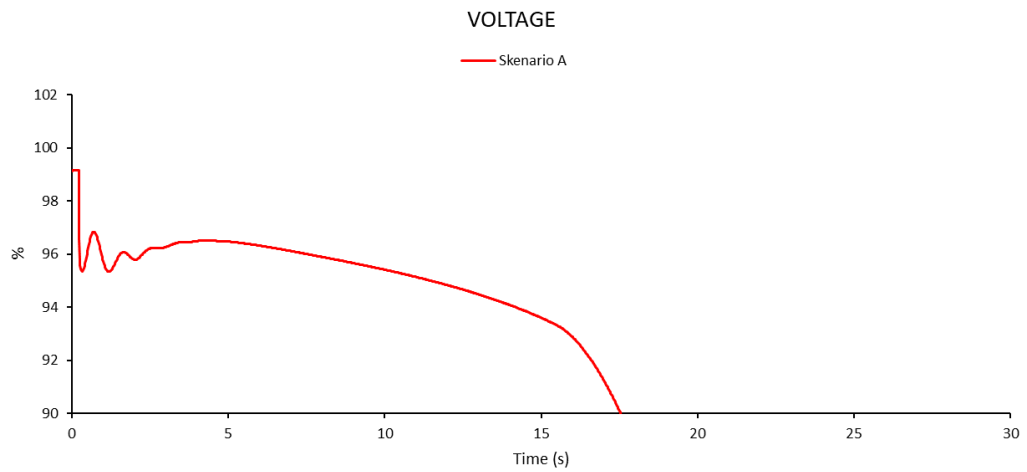
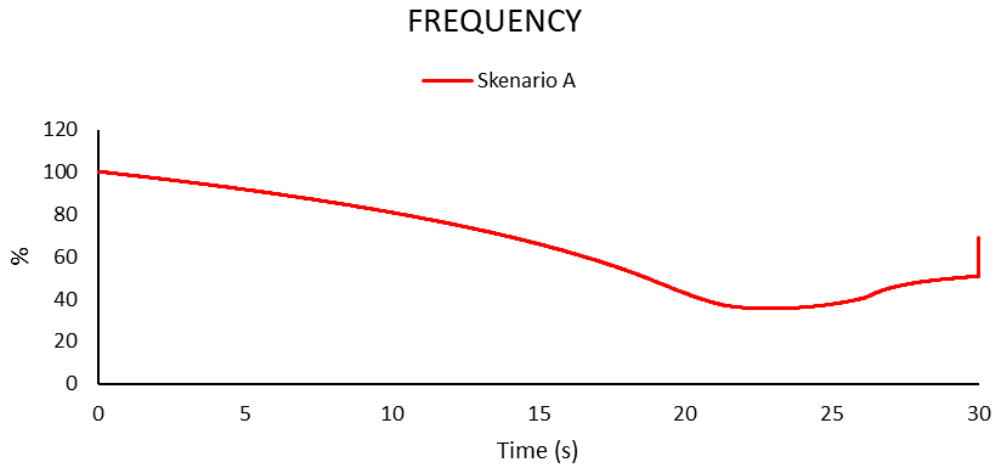
### FREQUENCY



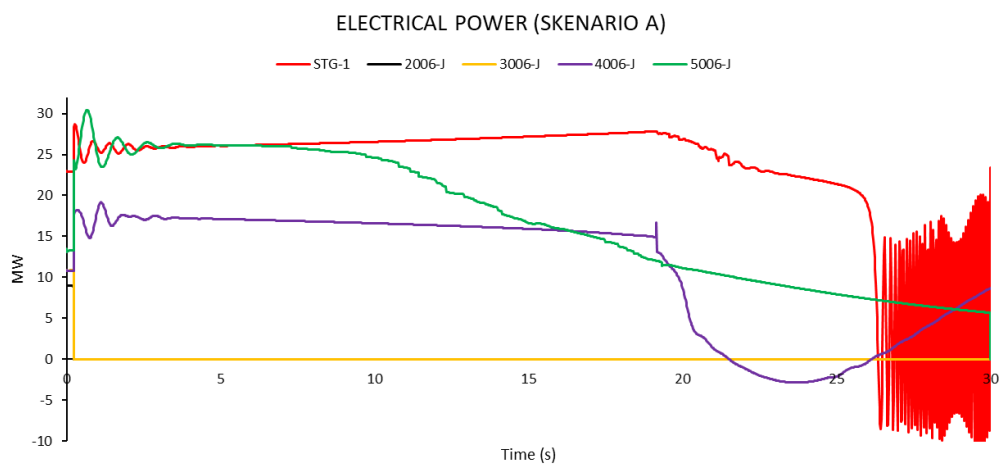
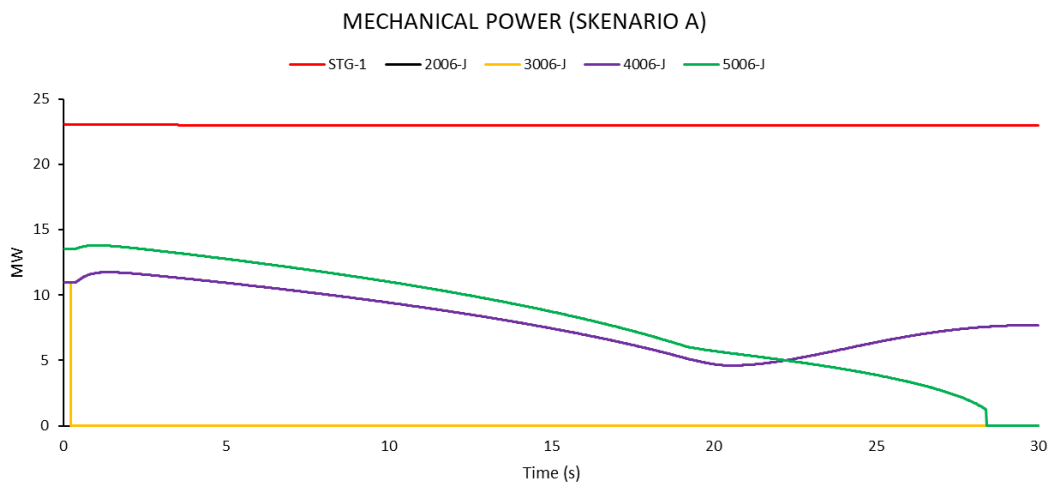
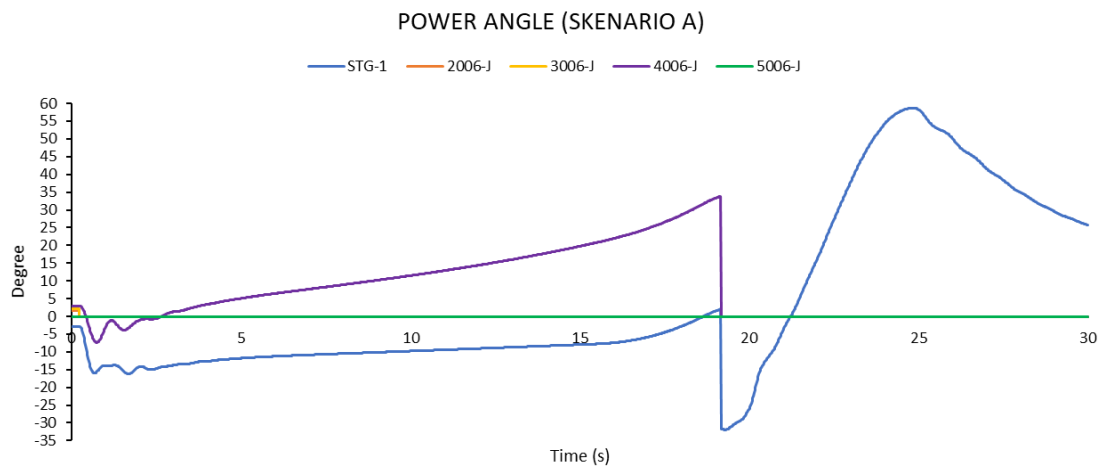




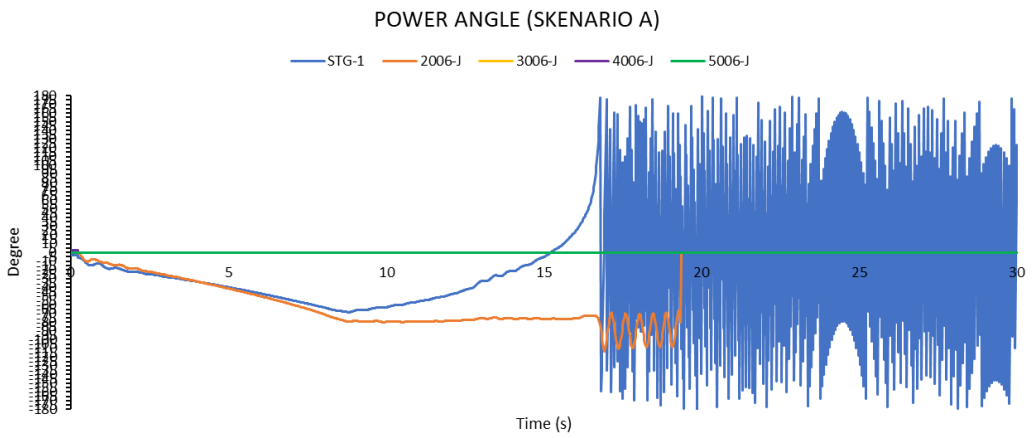
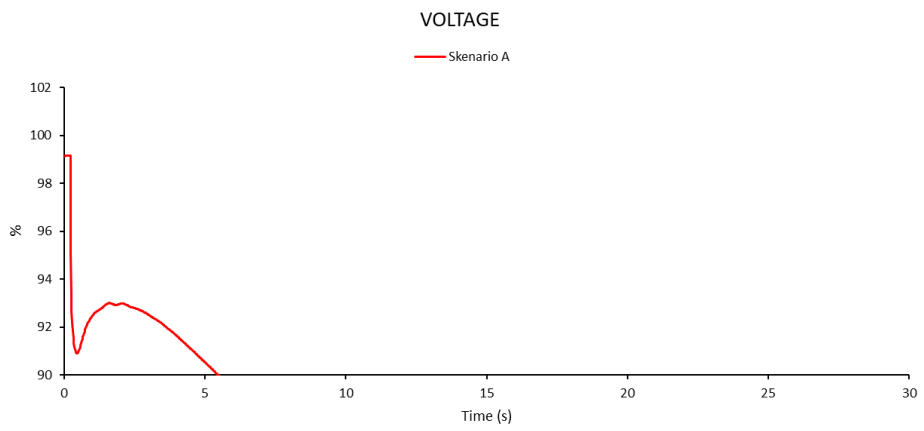
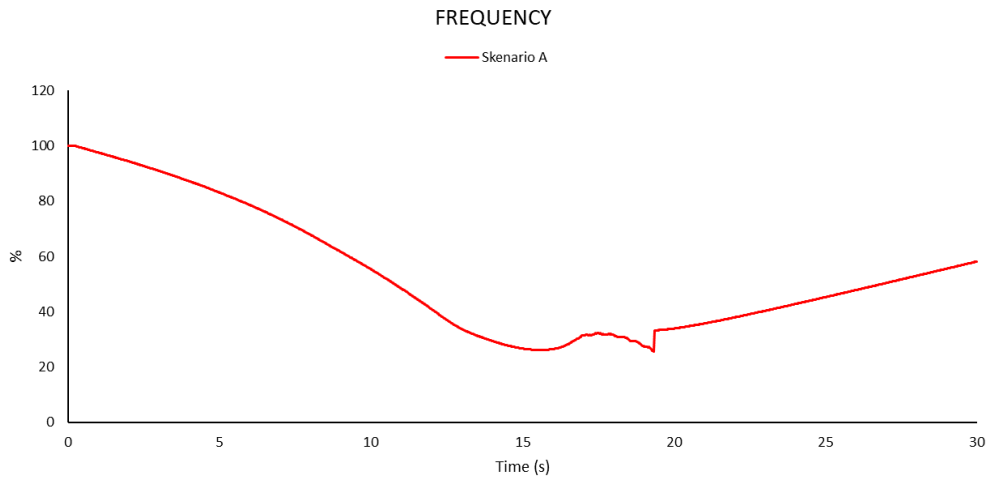
- **Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P2 & P3 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**

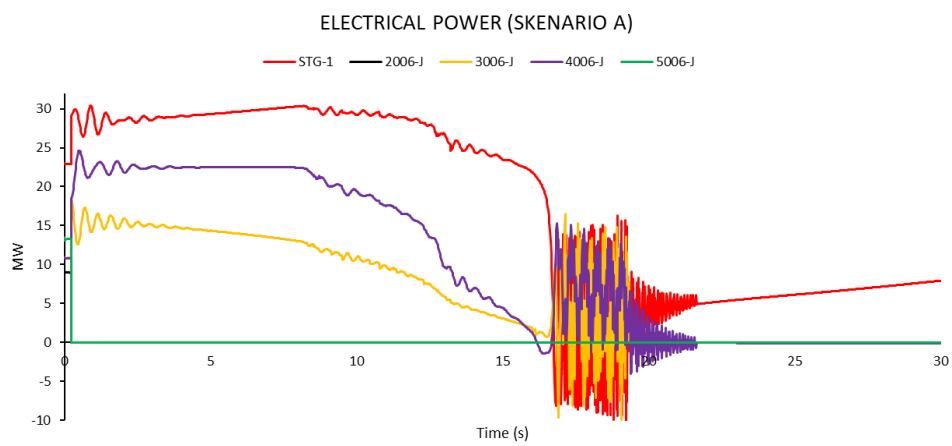
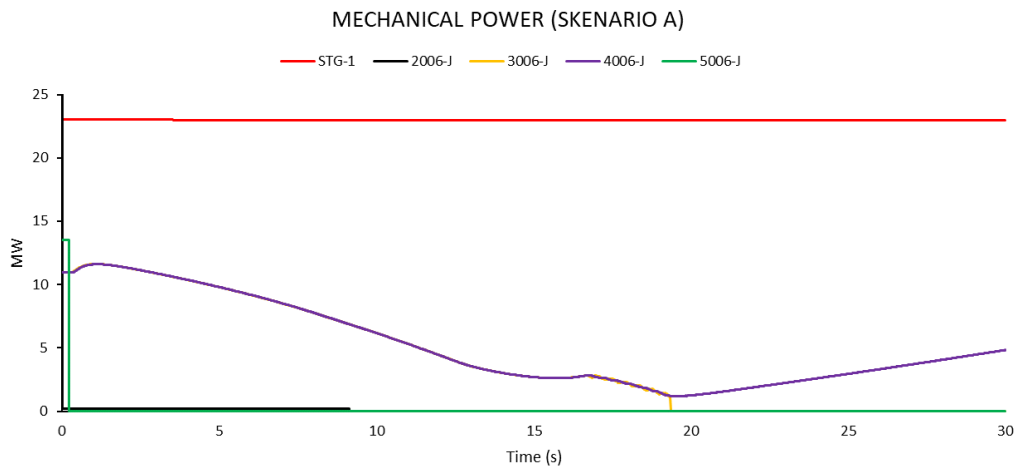




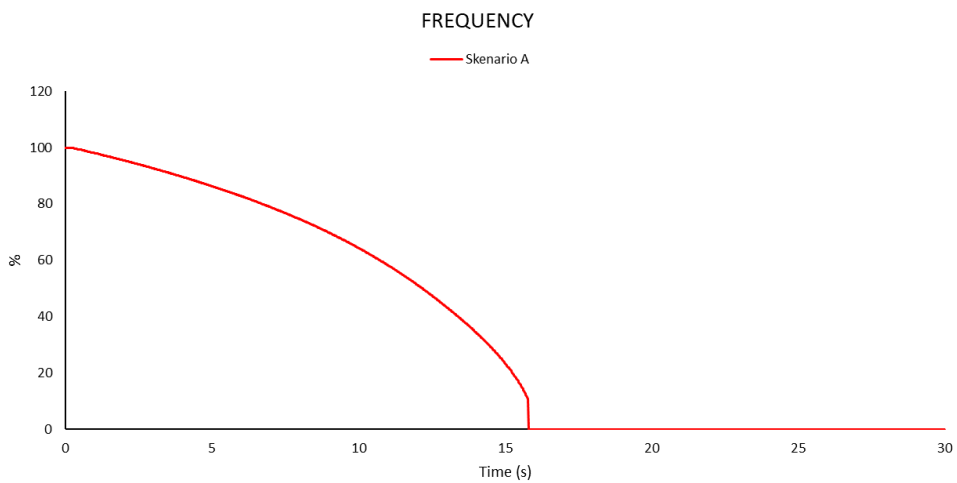


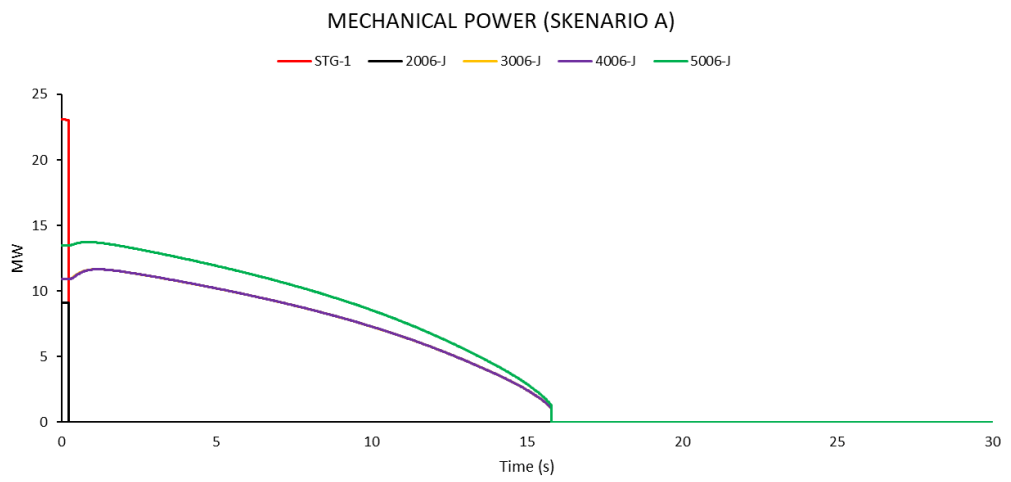
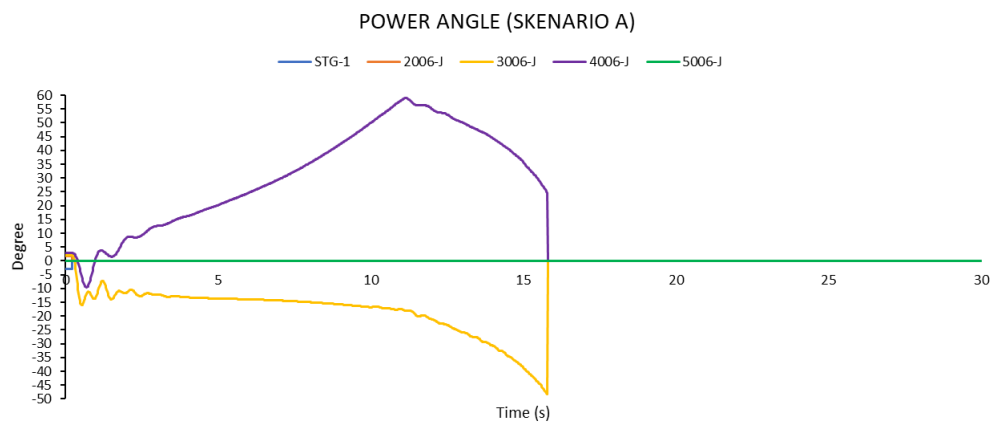
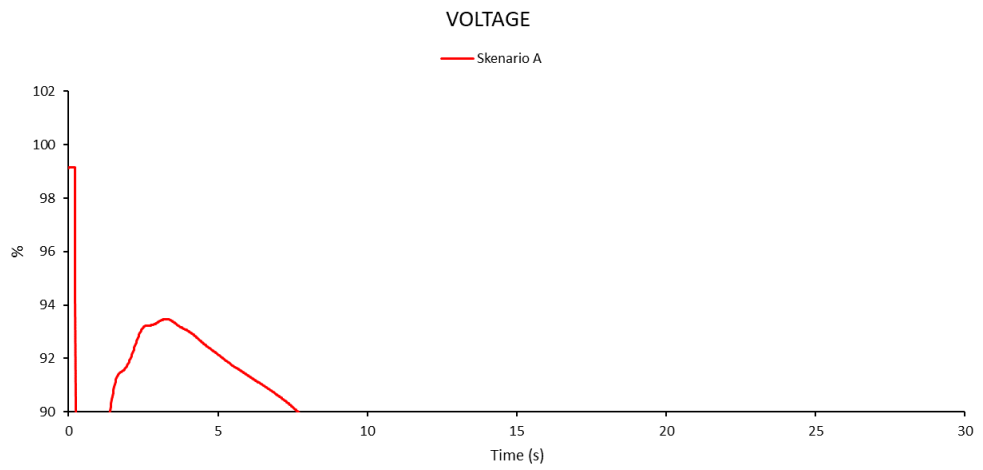
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P2 & P1B Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

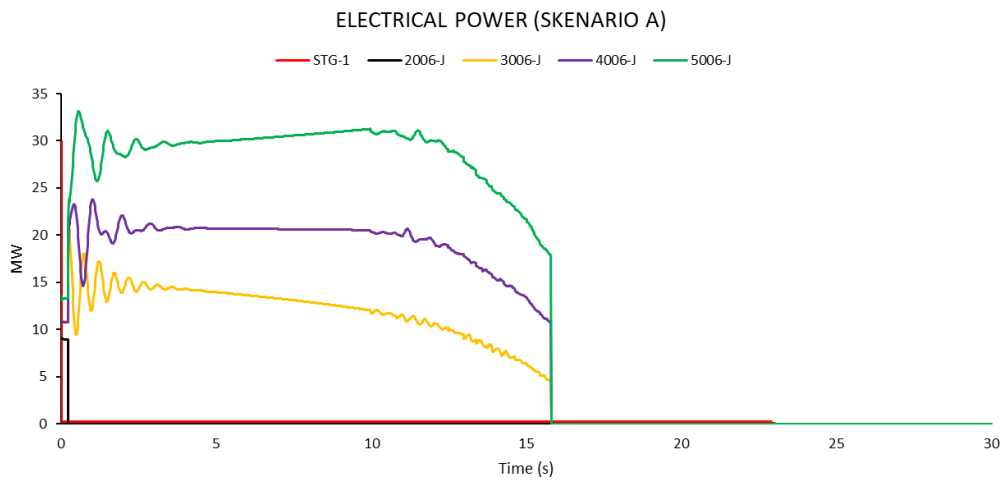




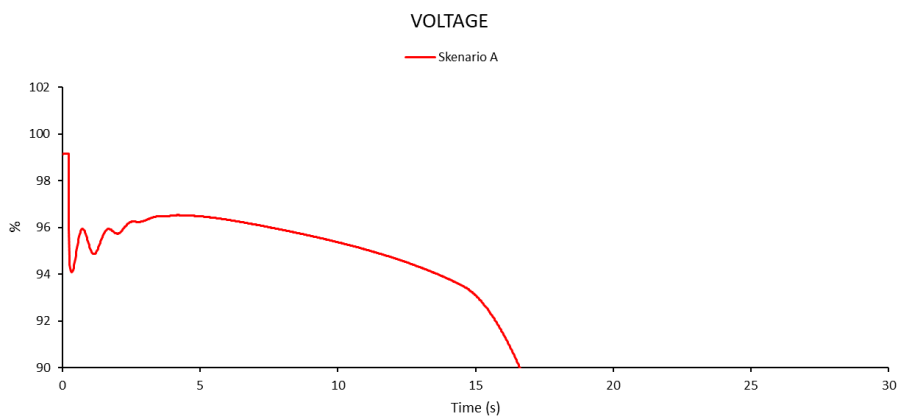
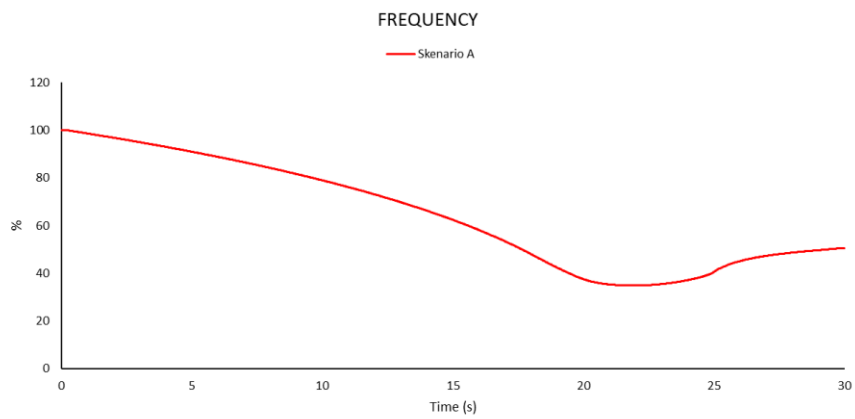
- **Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator STG & P2 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**

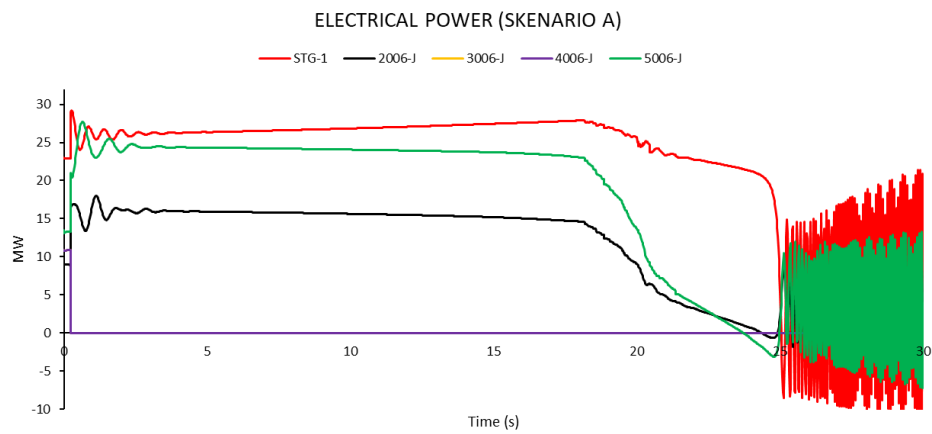
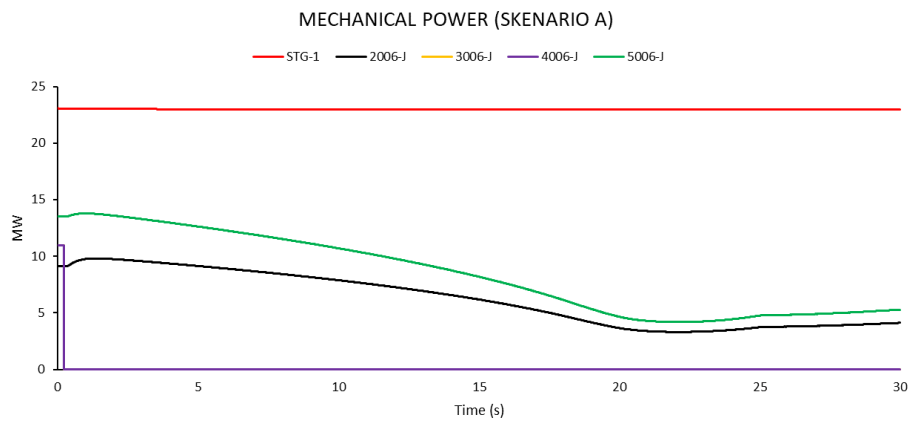
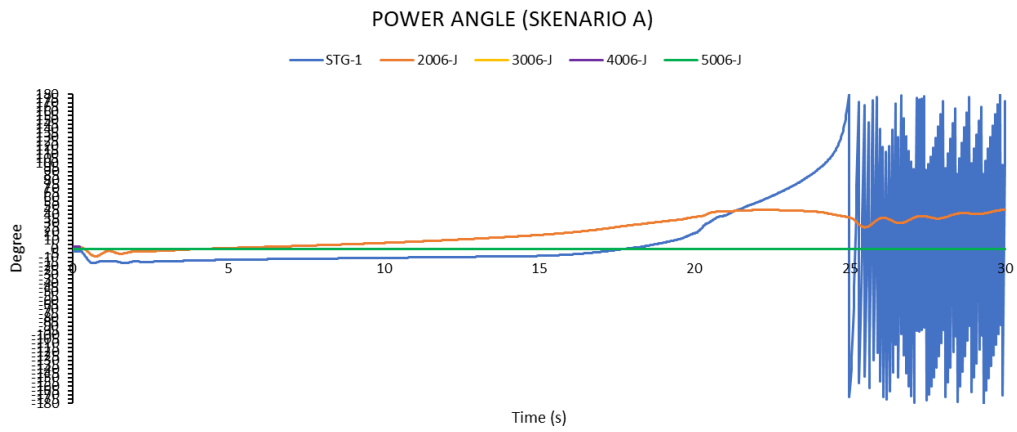






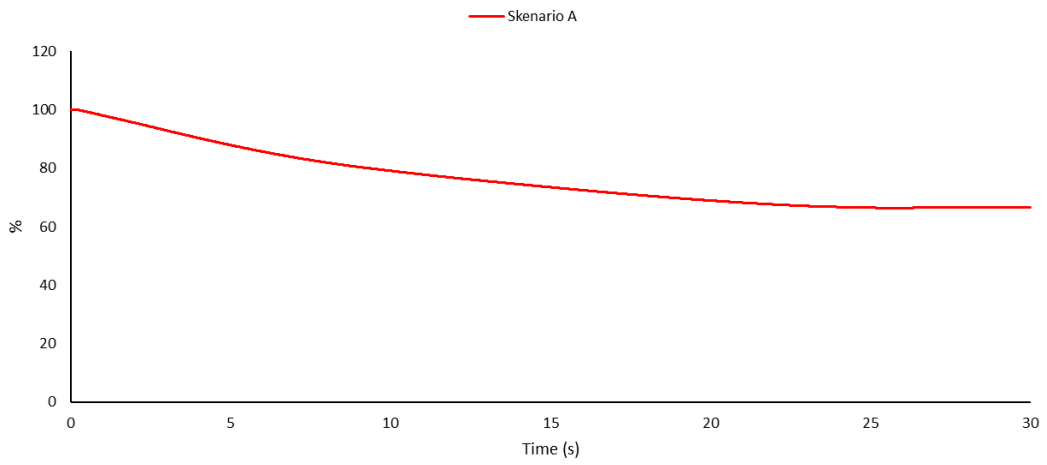
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P3 & P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



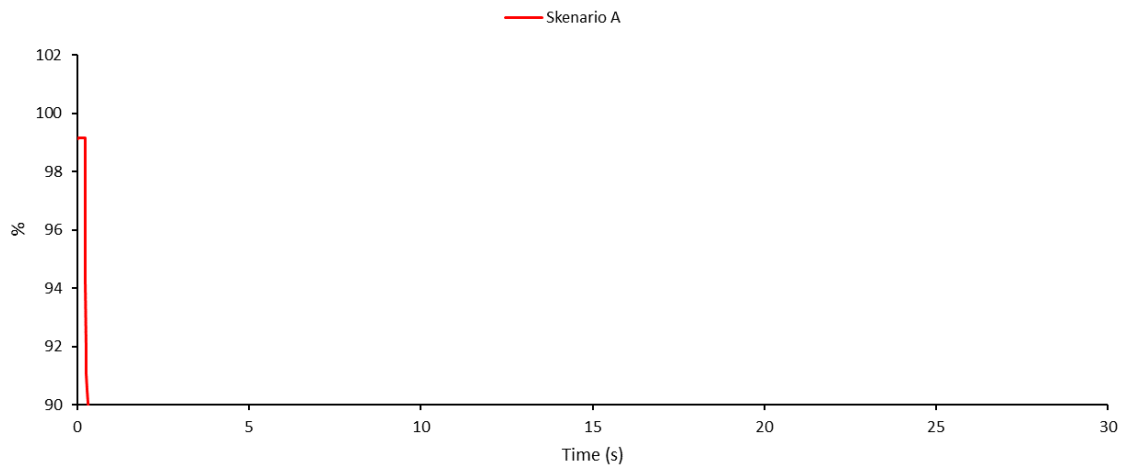


- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator P3 & P1B Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

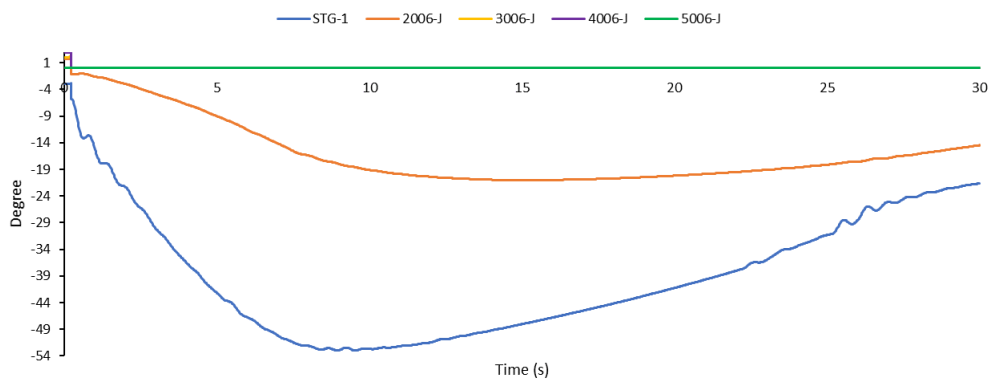
### FREQUENCY

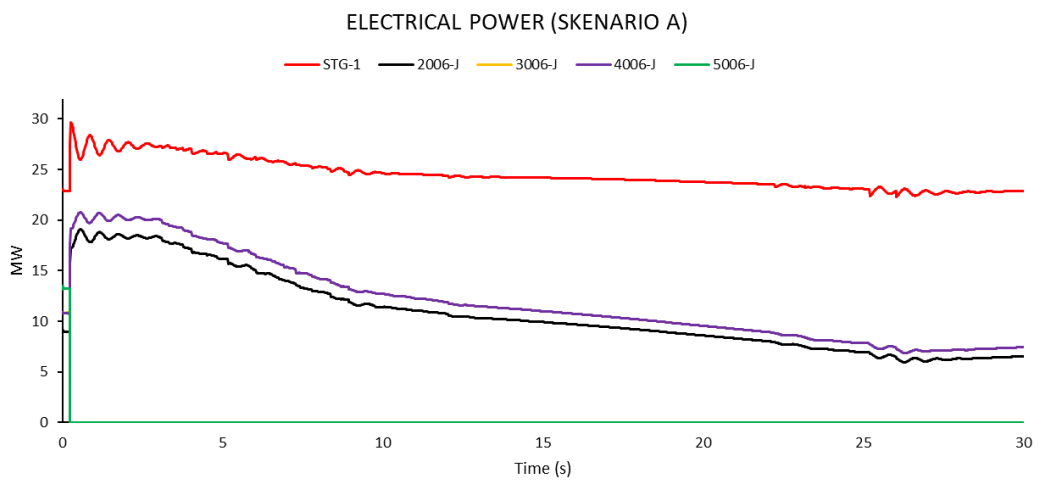
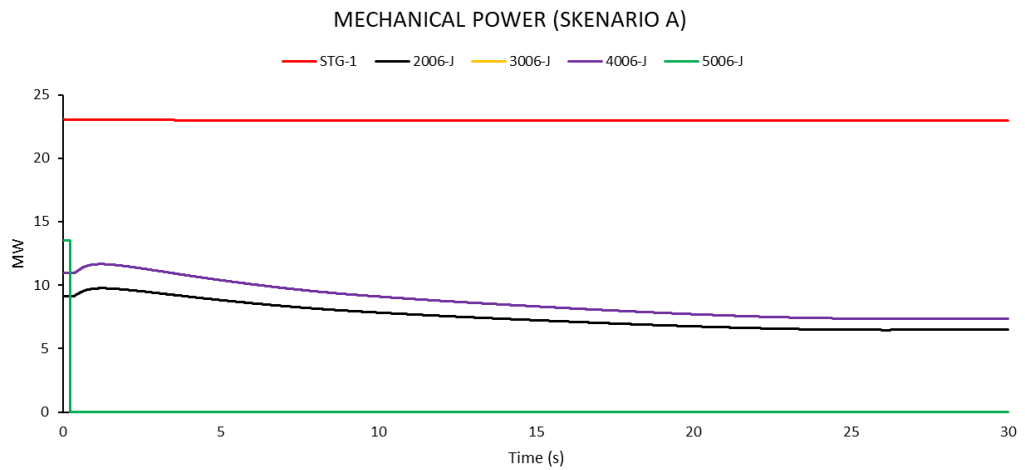


### VOLTAGE

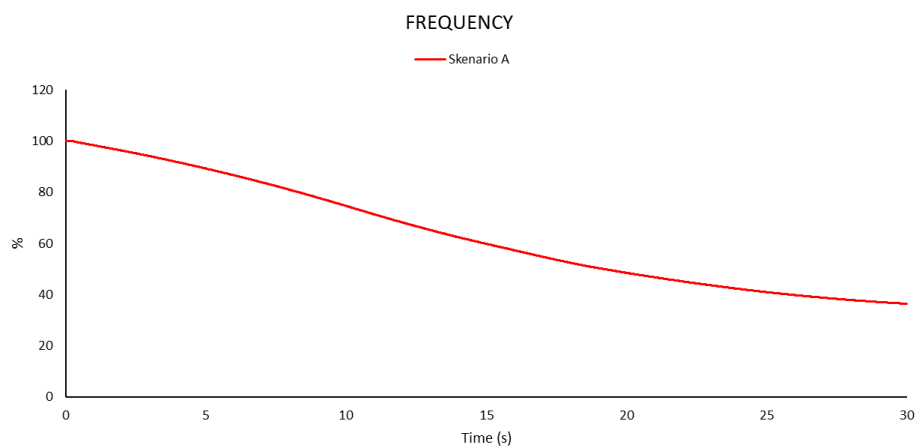


### POWER ANGLE (SKENARIO A)

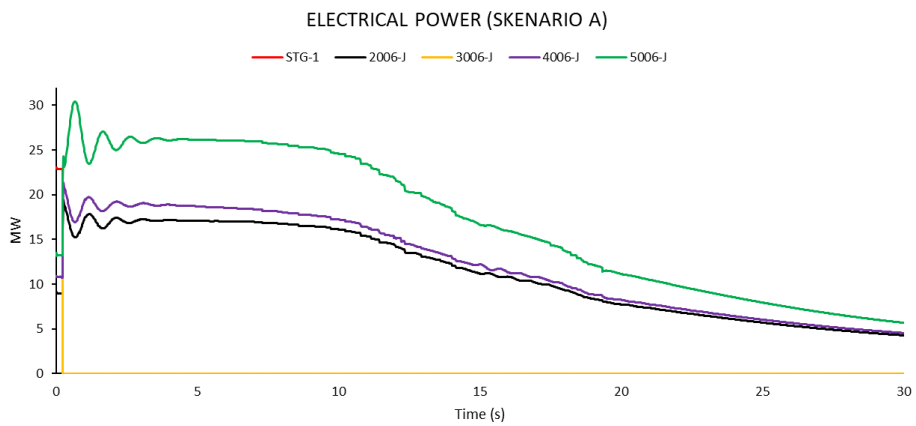
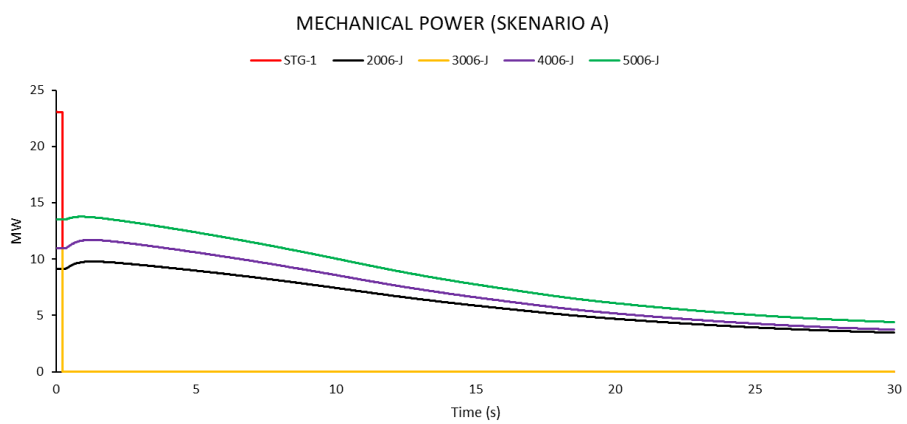
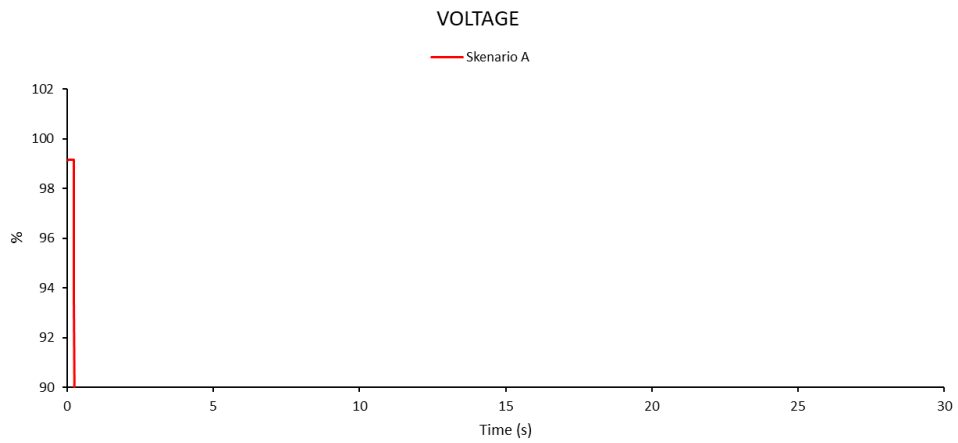


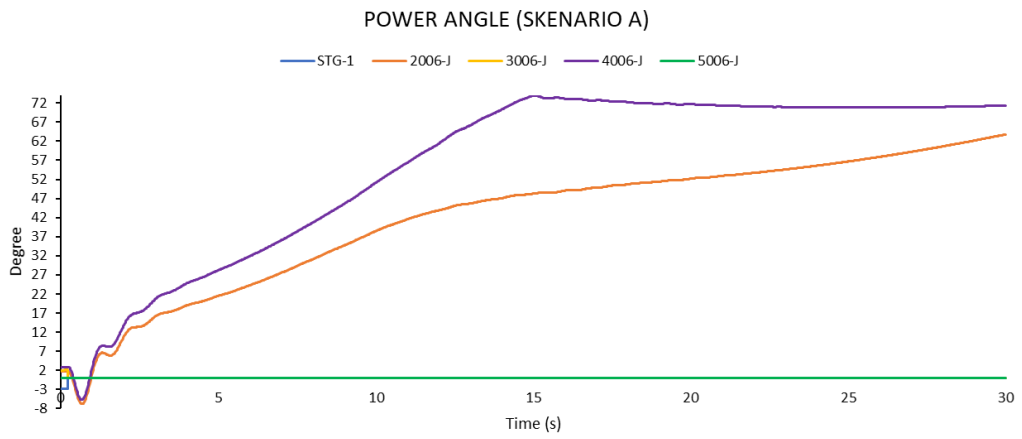


- **Studi Kasus Skenario A Pola Operasi Normal, Generator STG & P3 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**

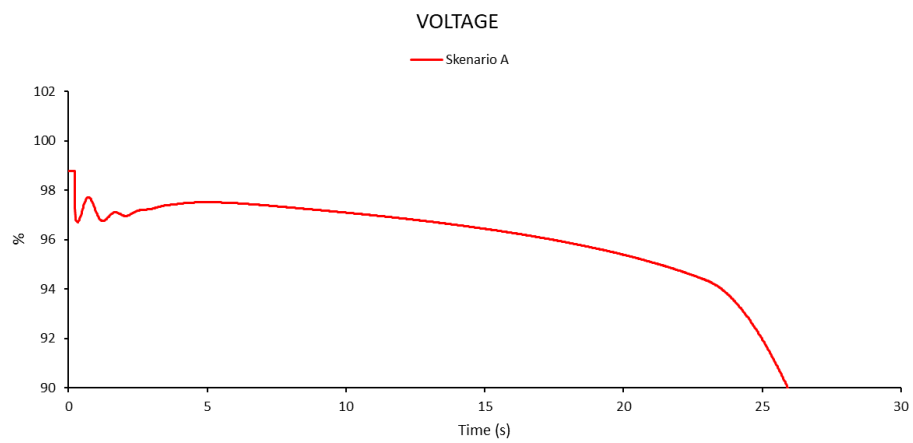
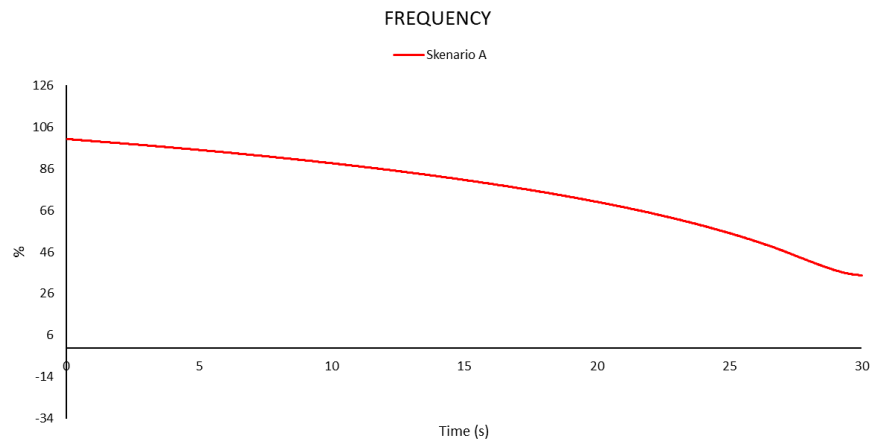


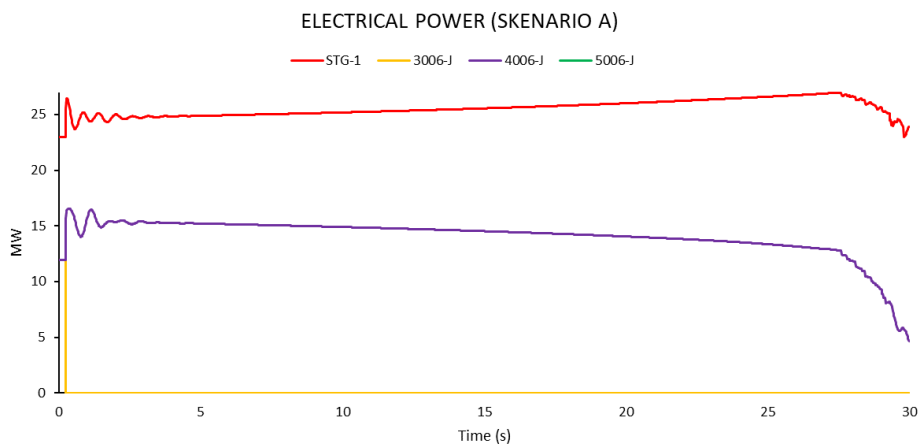
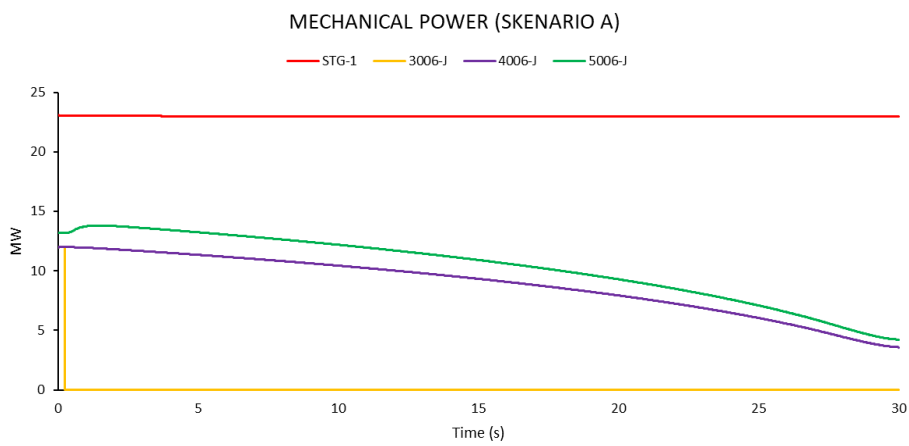
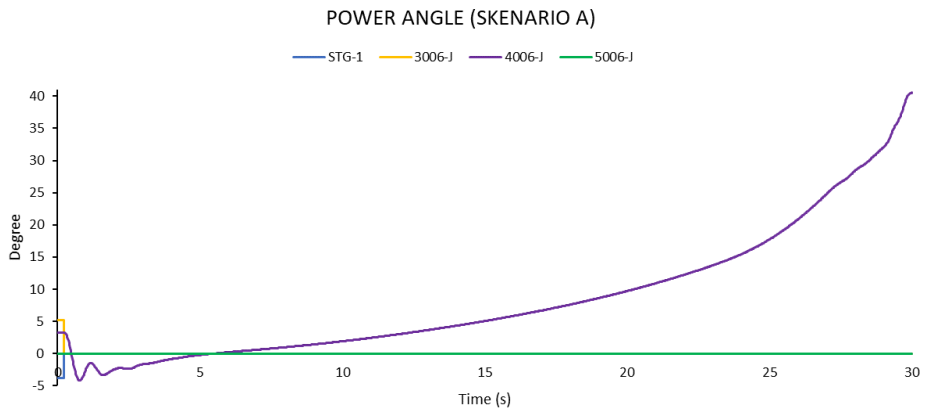




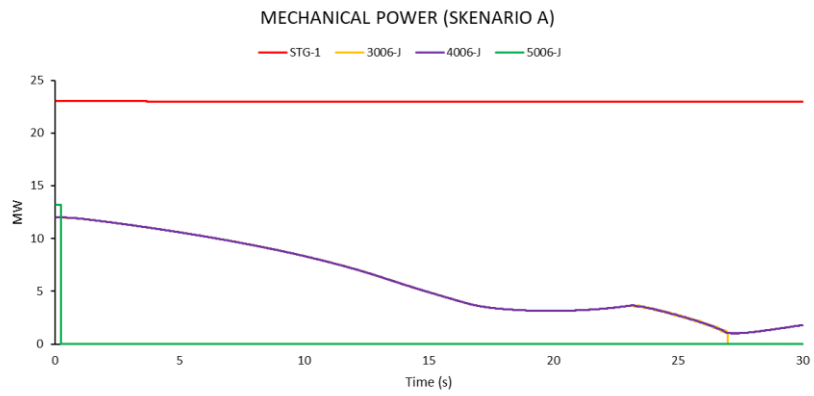
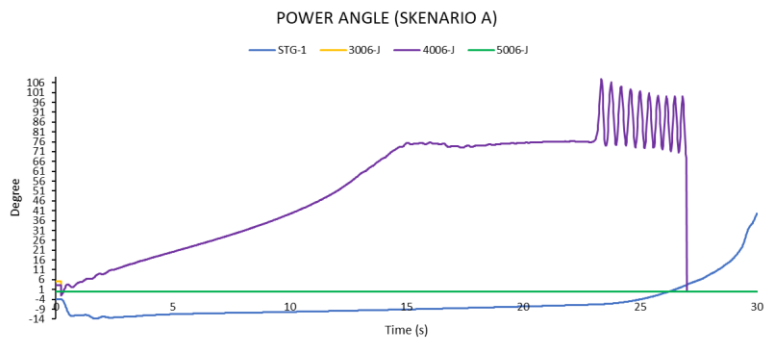
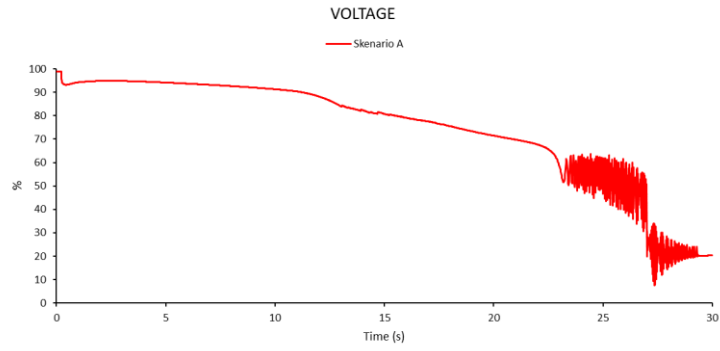
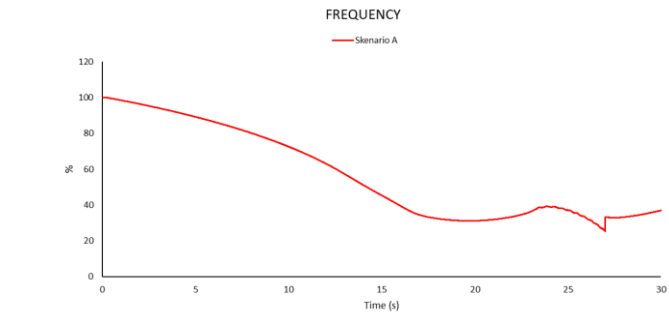


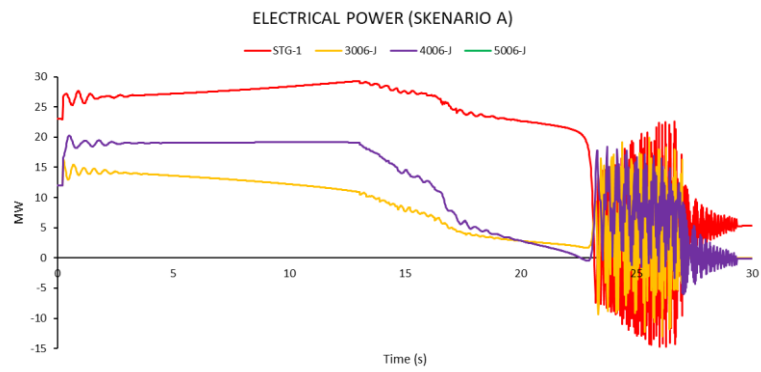
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P2 Off, Generator P3 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*



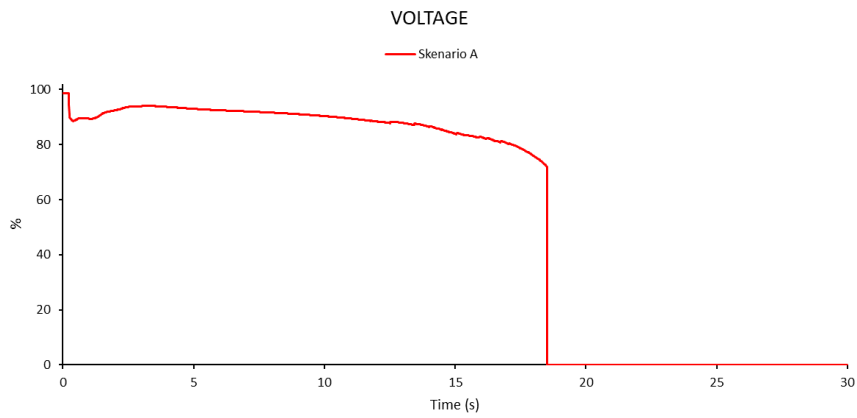
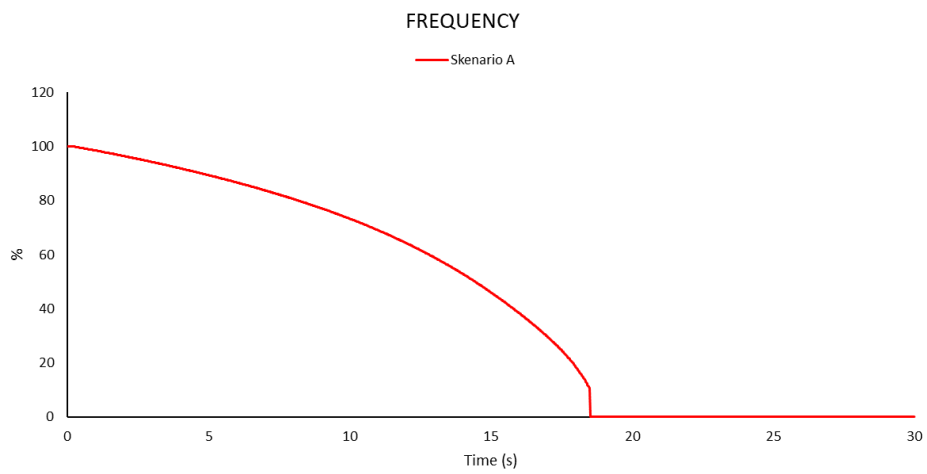


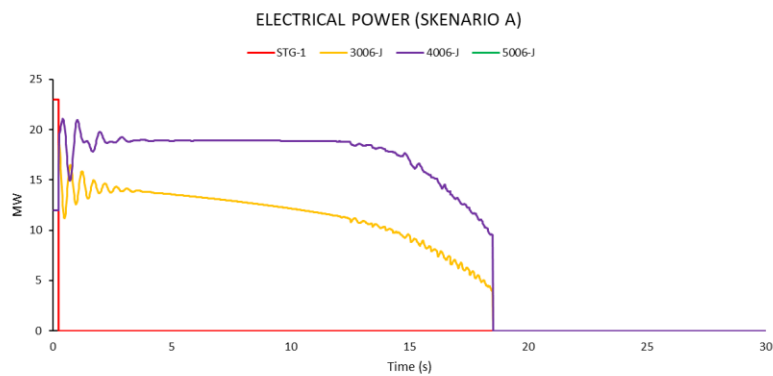
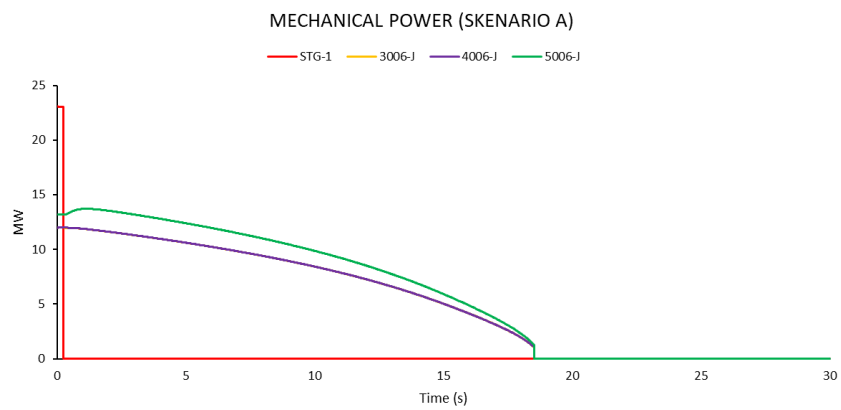
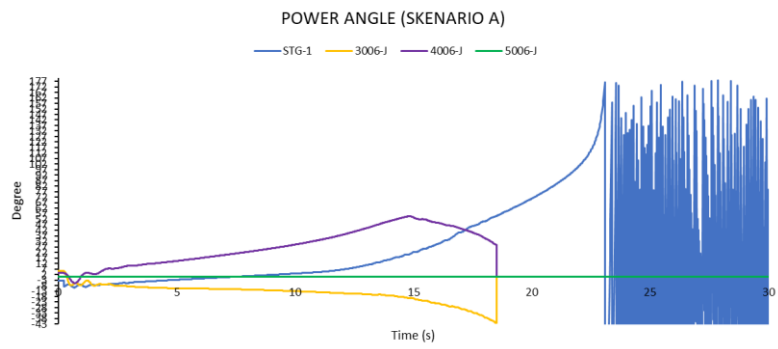
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P2 Off, Generator P1B Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*



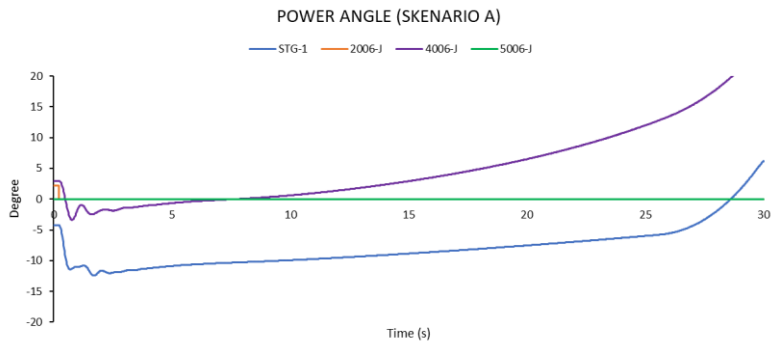
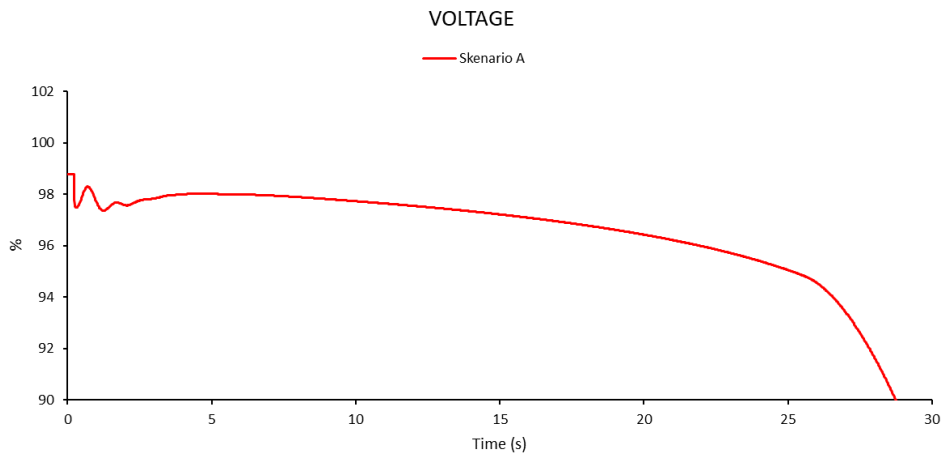
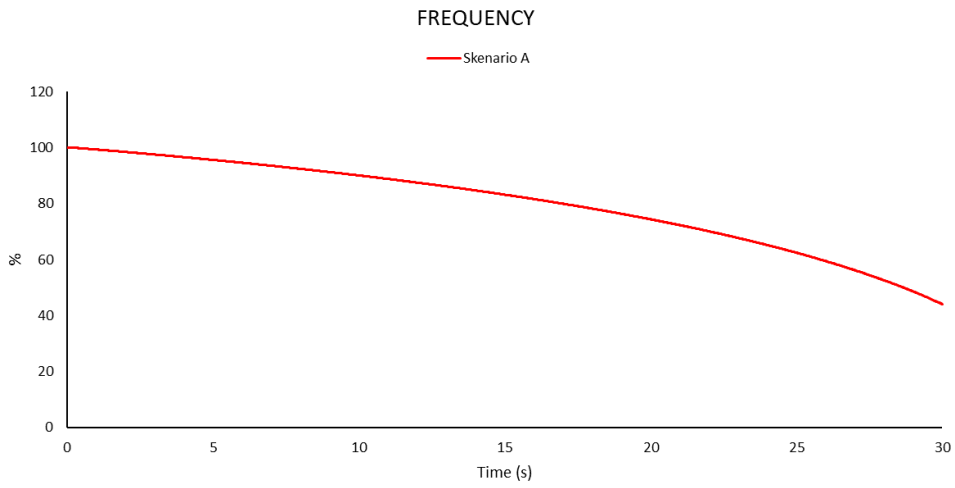


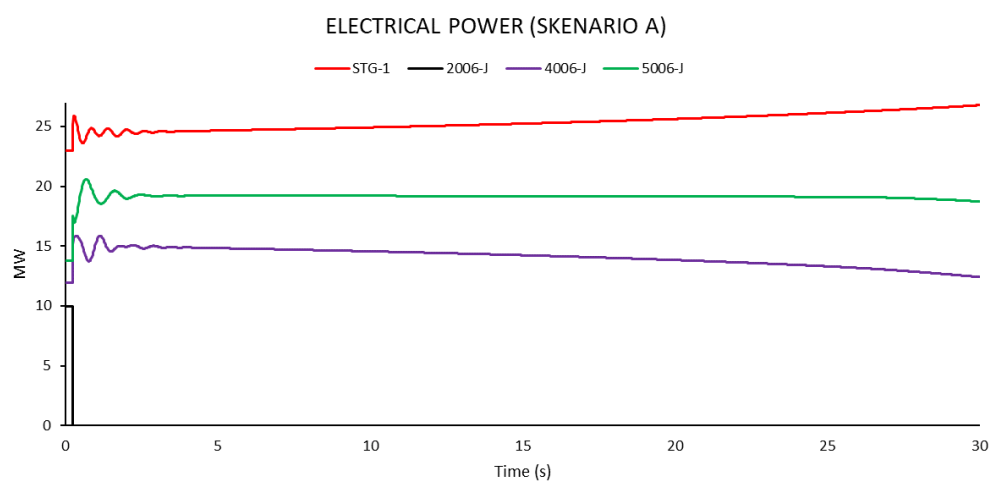
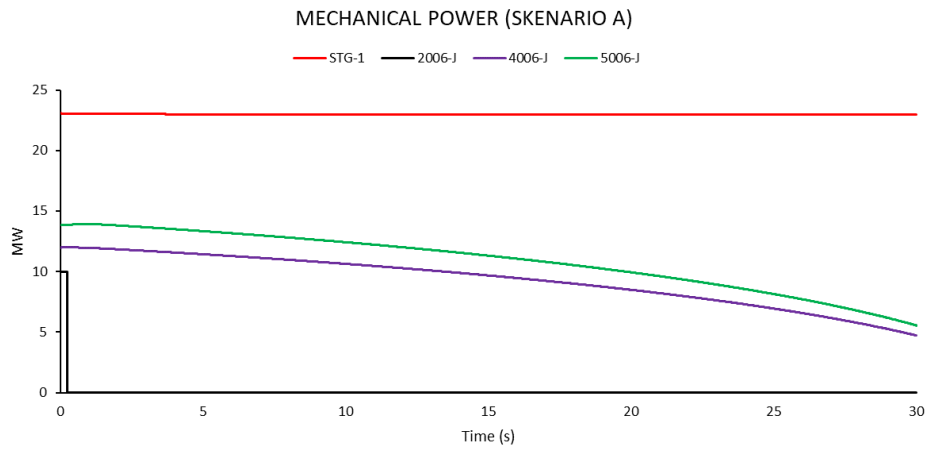
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P2 Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*



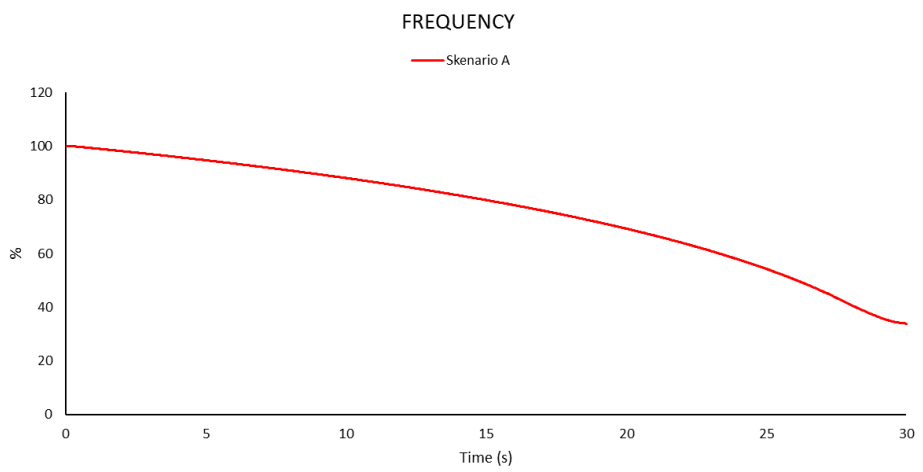


- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P3 Off, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

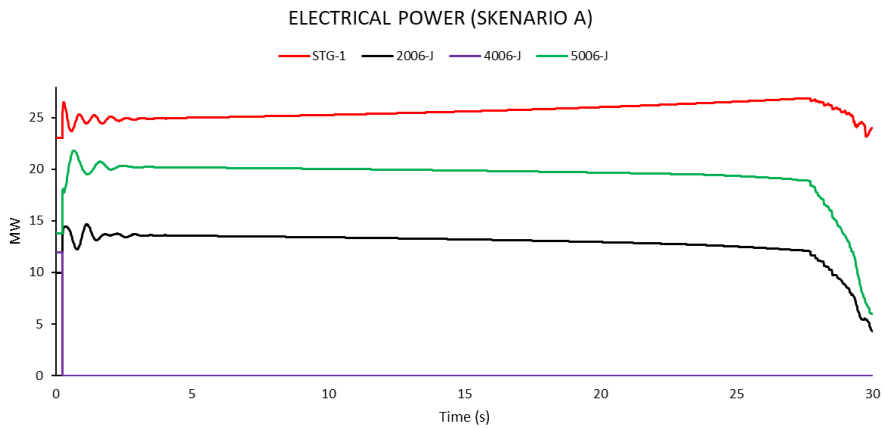
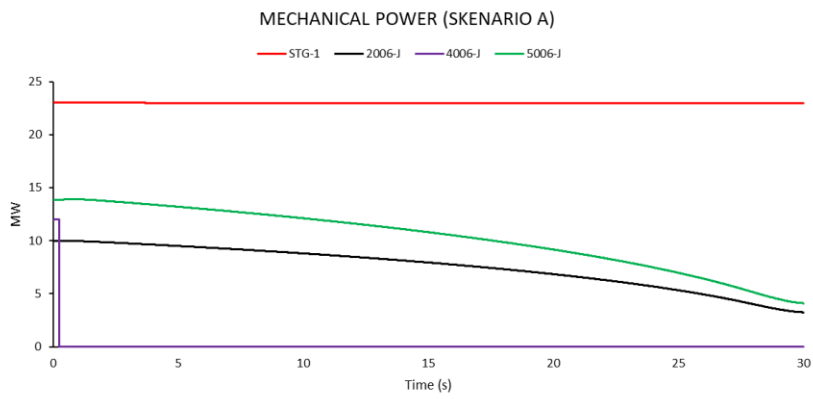
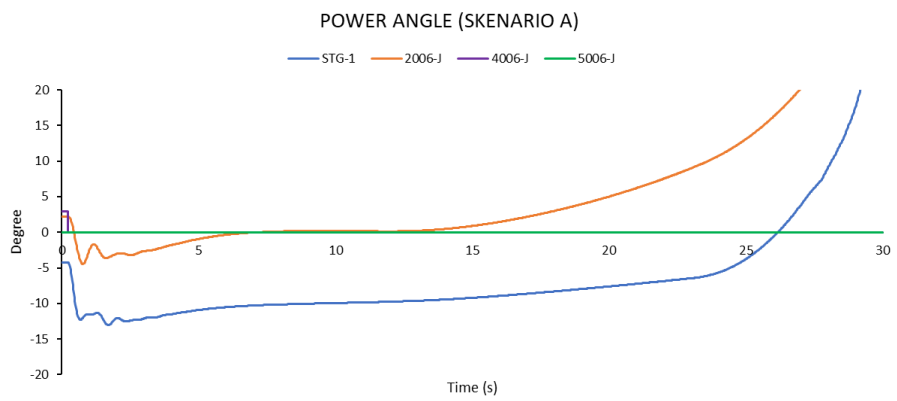
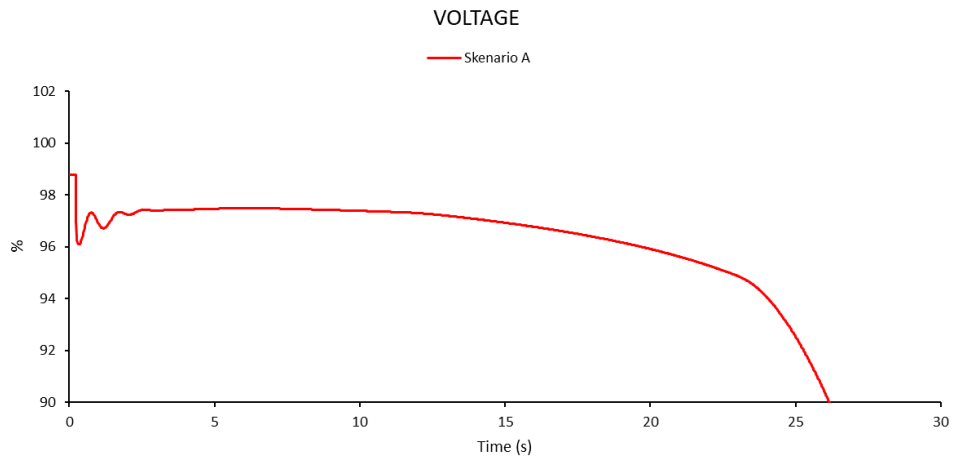




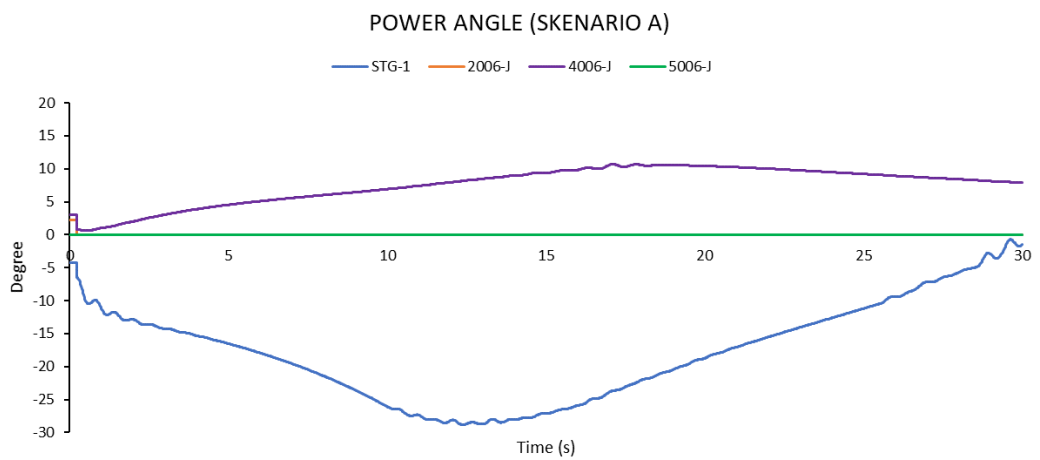
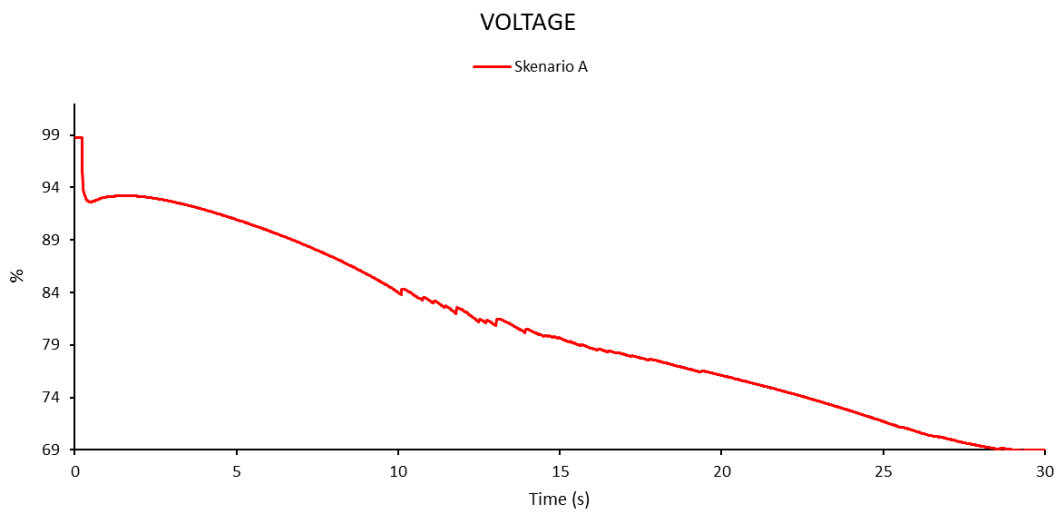
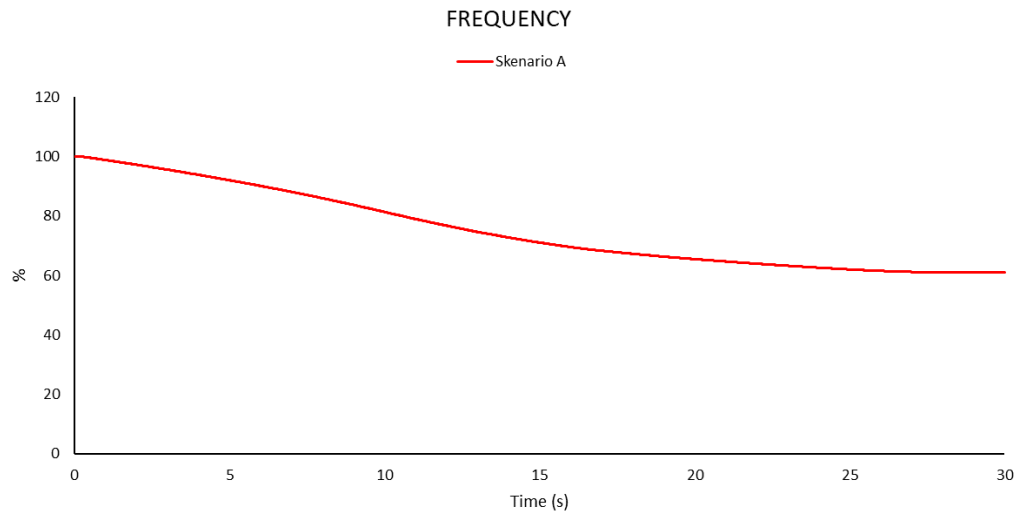
- **Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P3 Off, Generator P4 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**

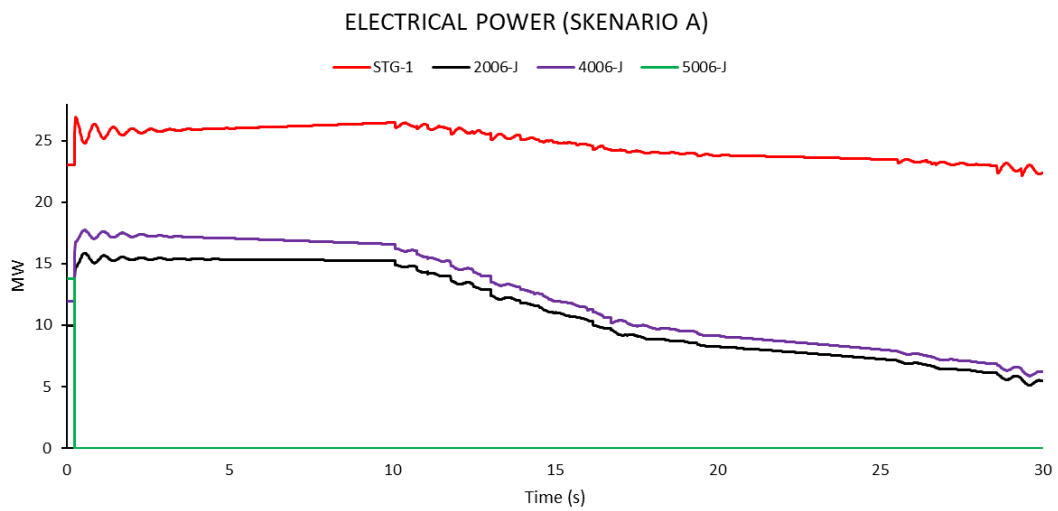
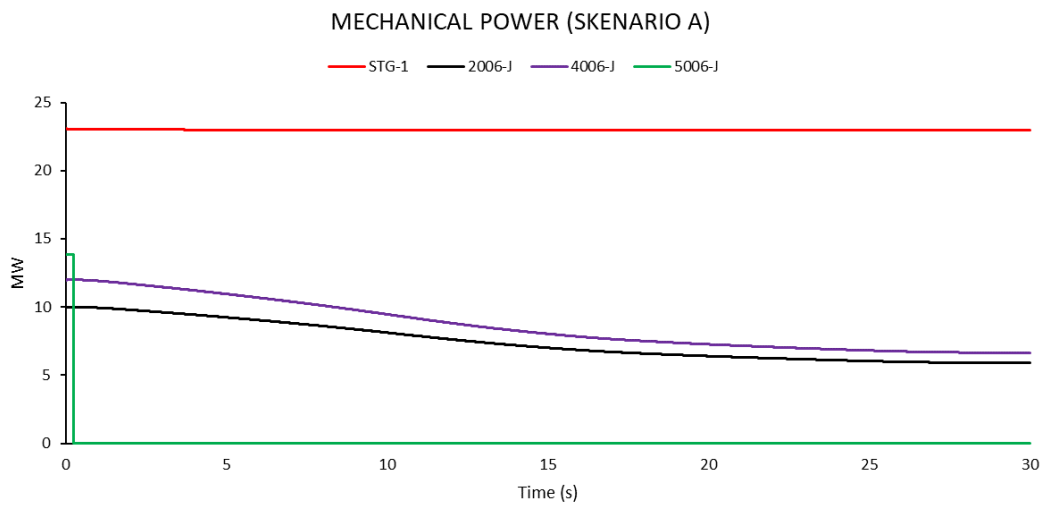




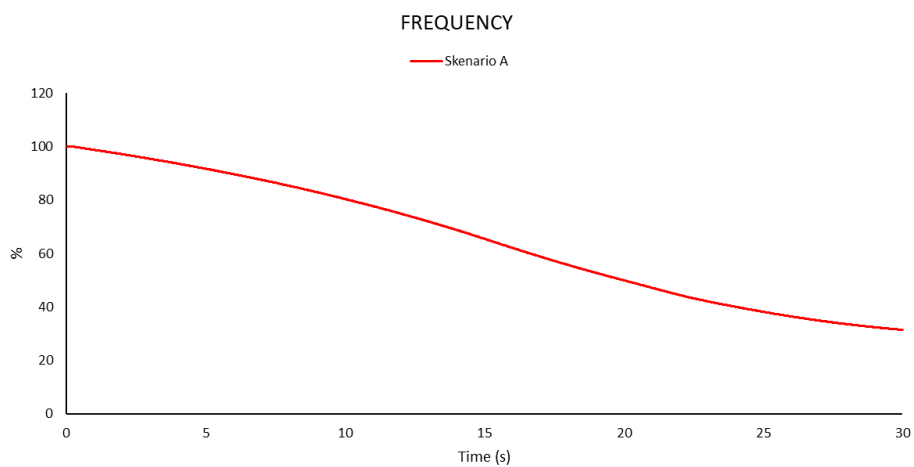


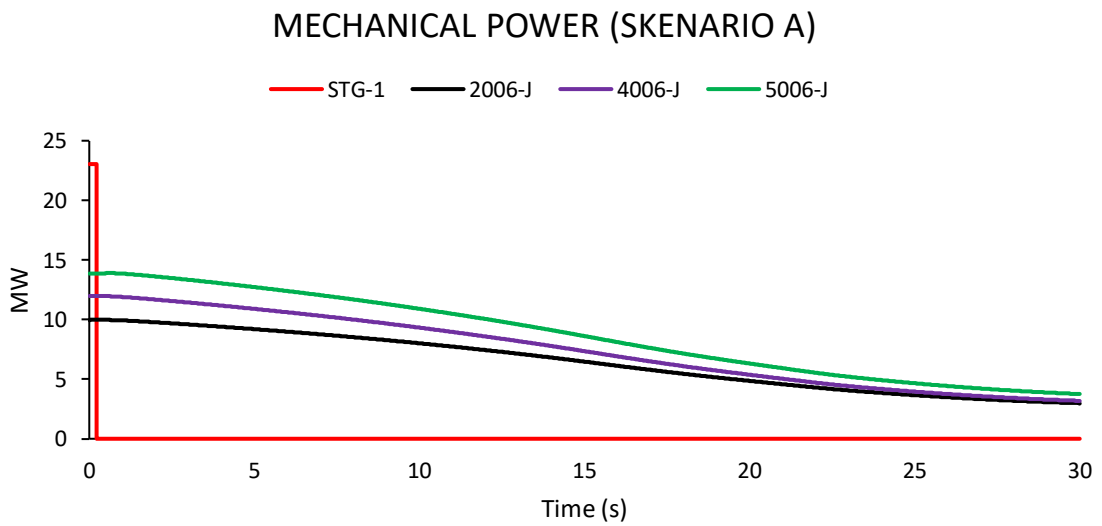
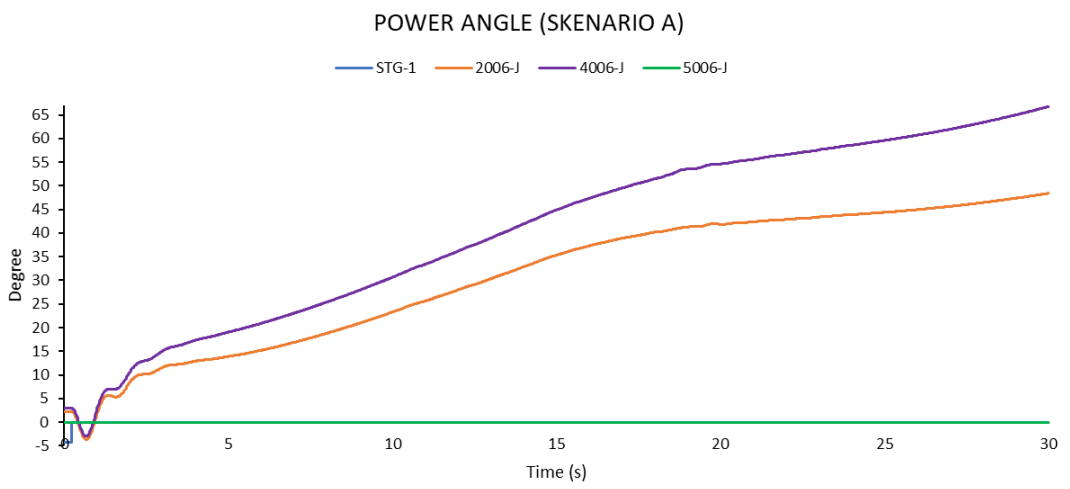
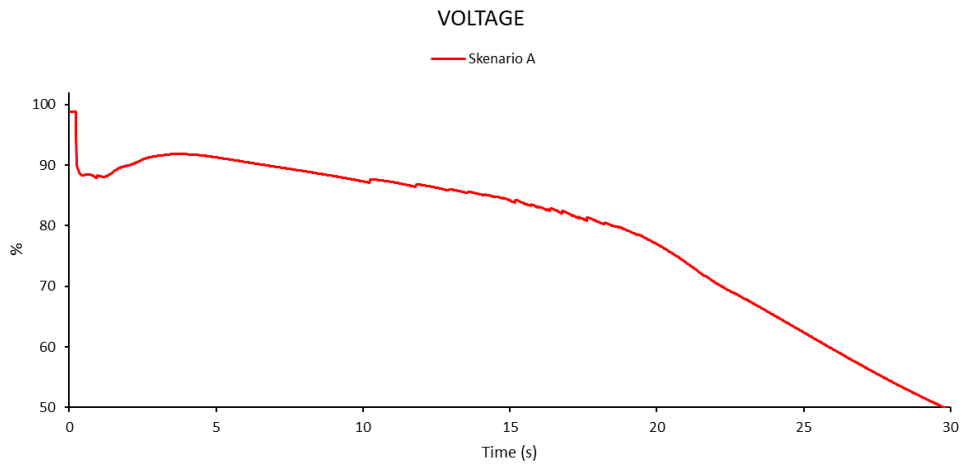
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P3 Off, Generator PIB Outage dari Sistem (t=0.225s)*

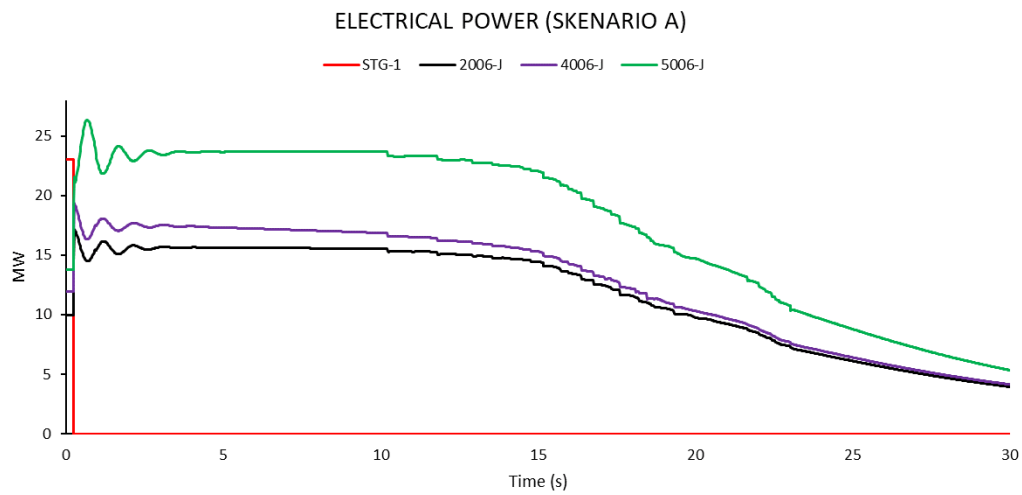




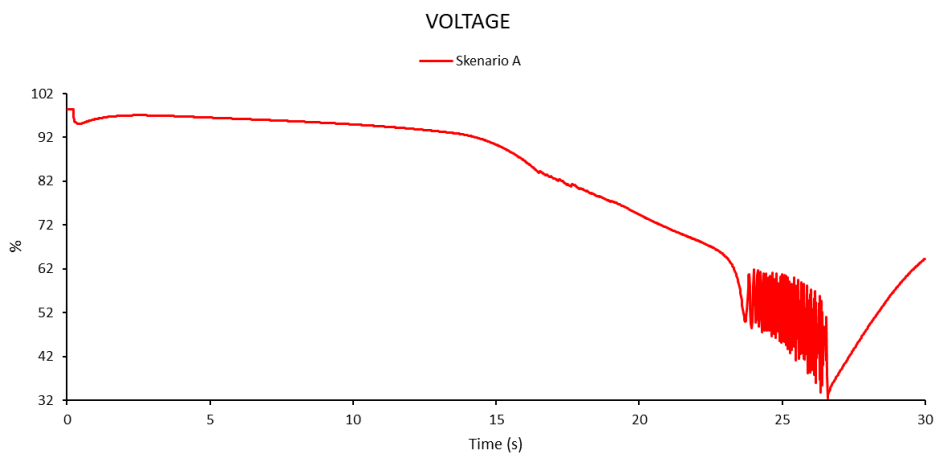
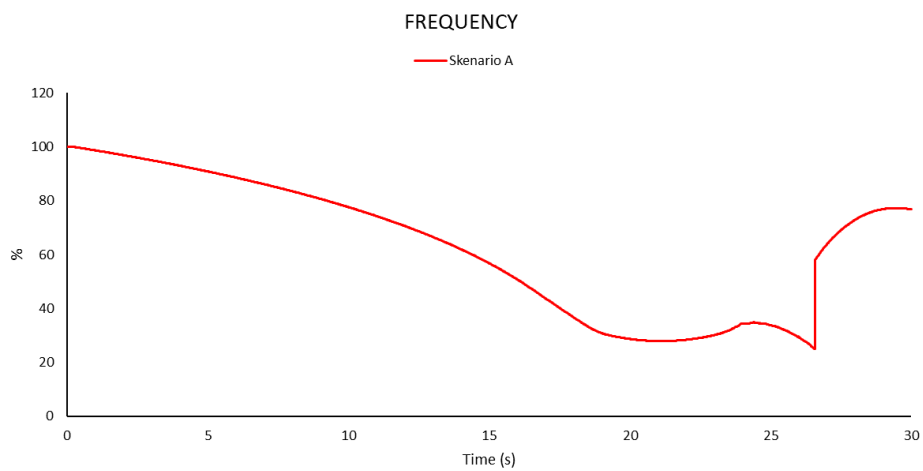
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P3 Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*

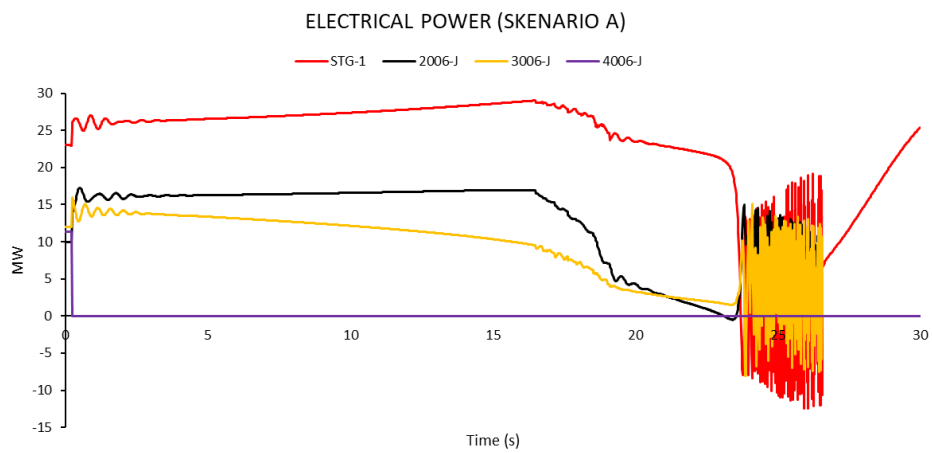
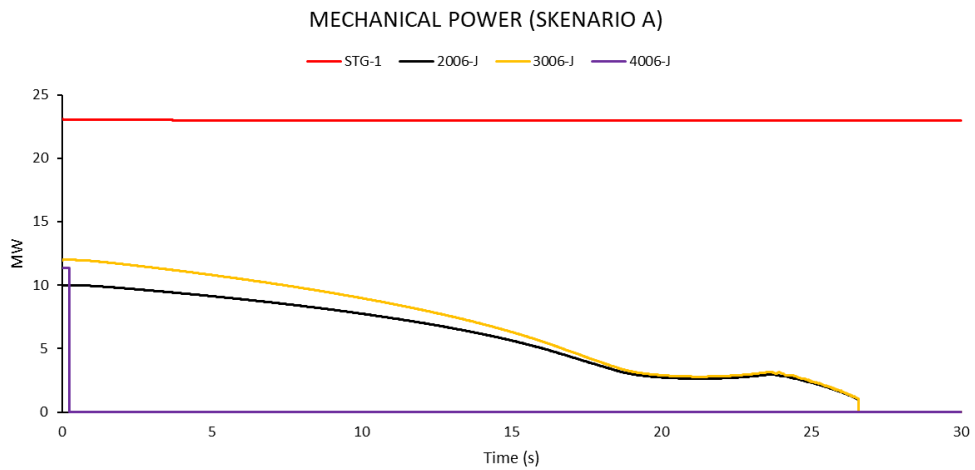
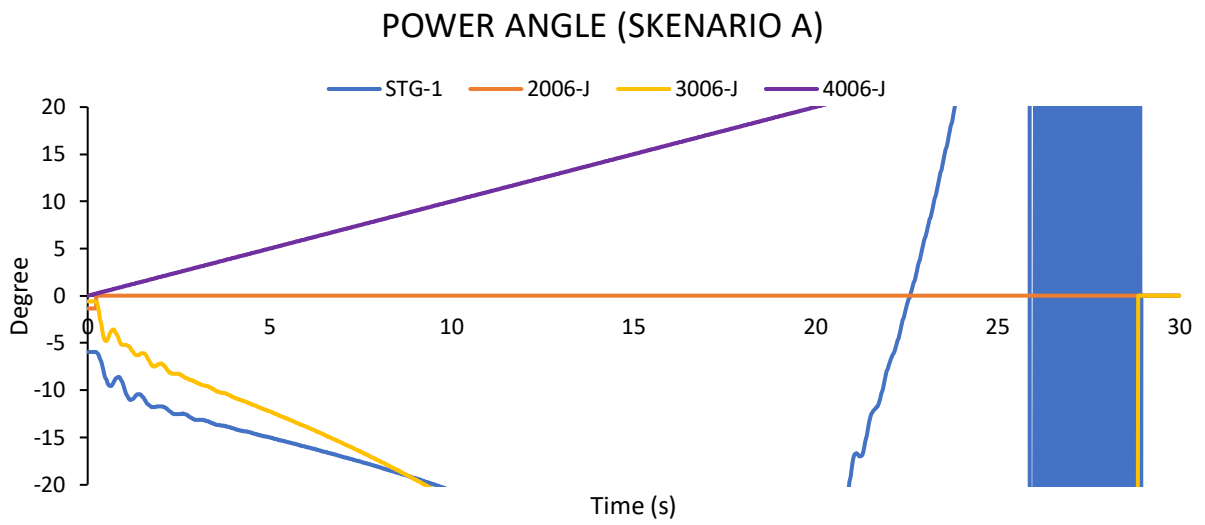




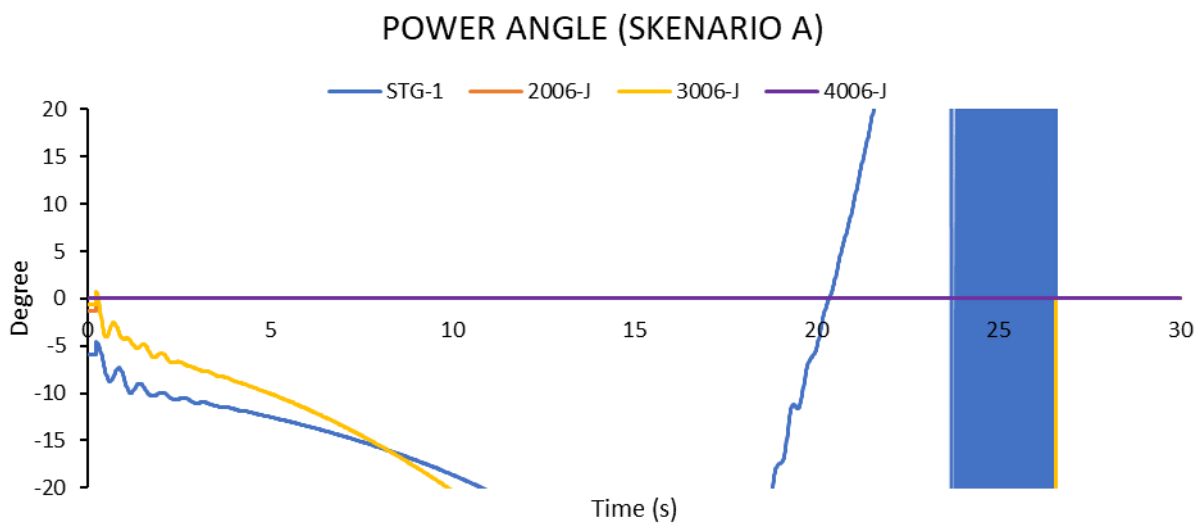
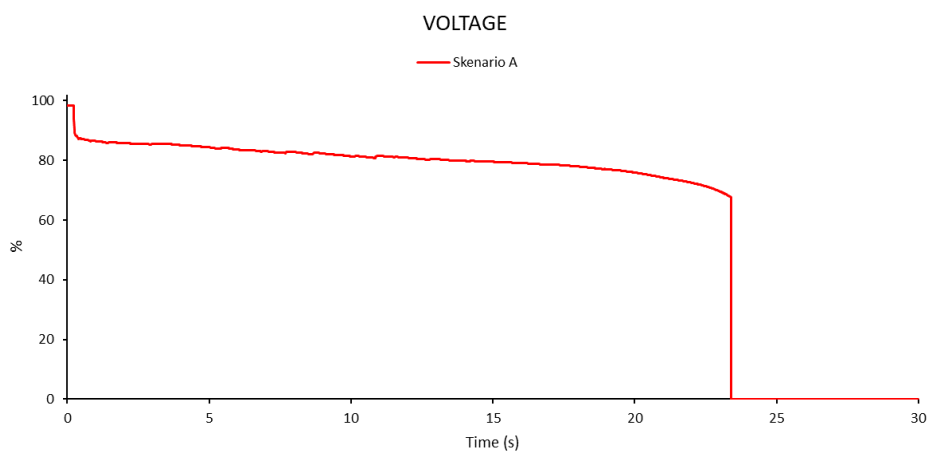
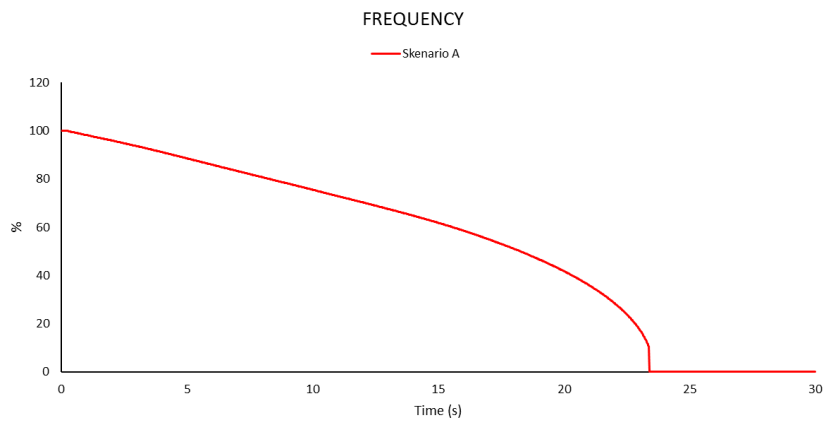


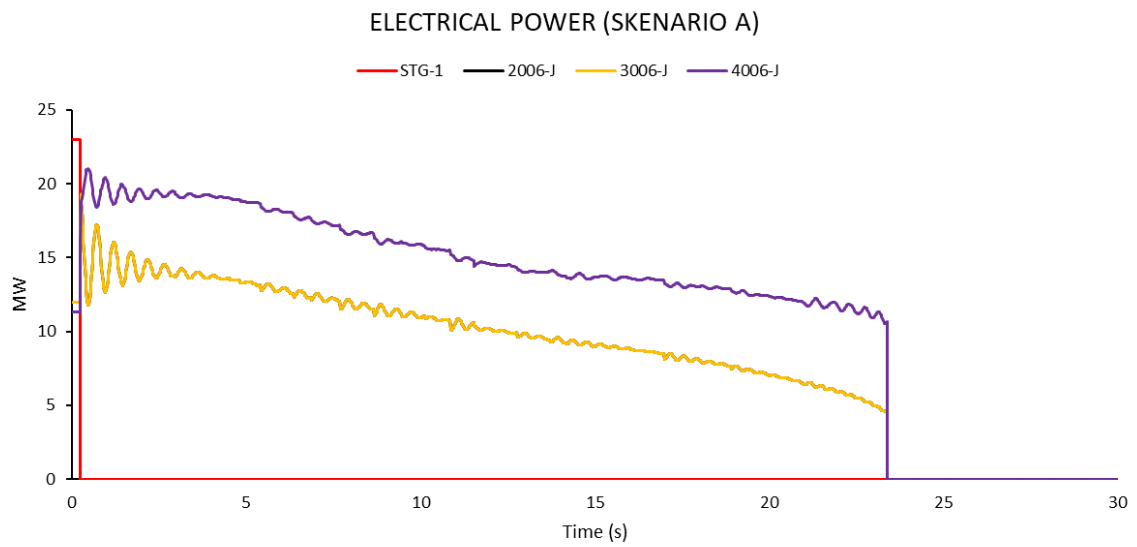
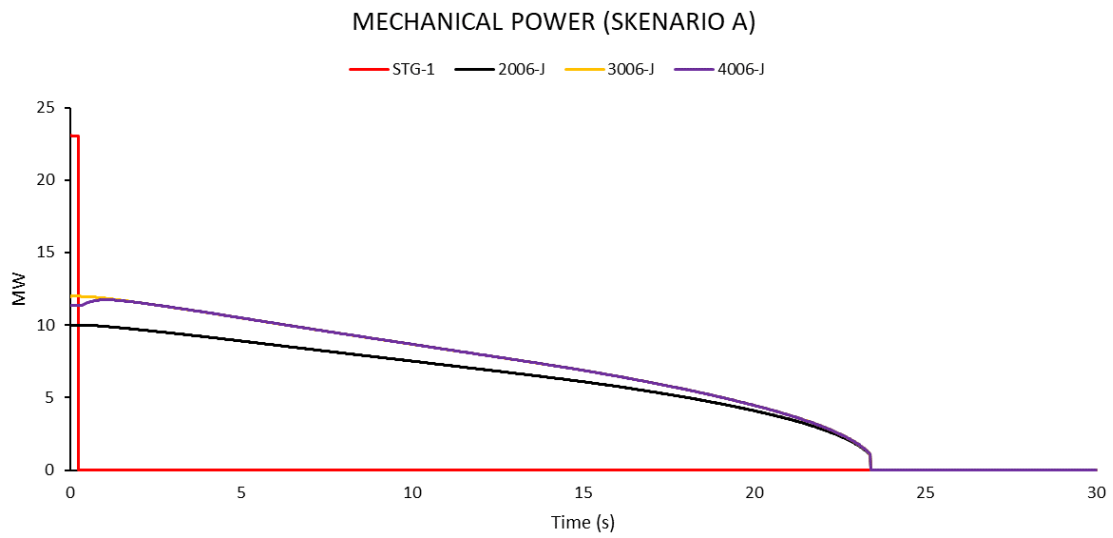
- **Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P1B Off, Generator P2 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**





- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P1B Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

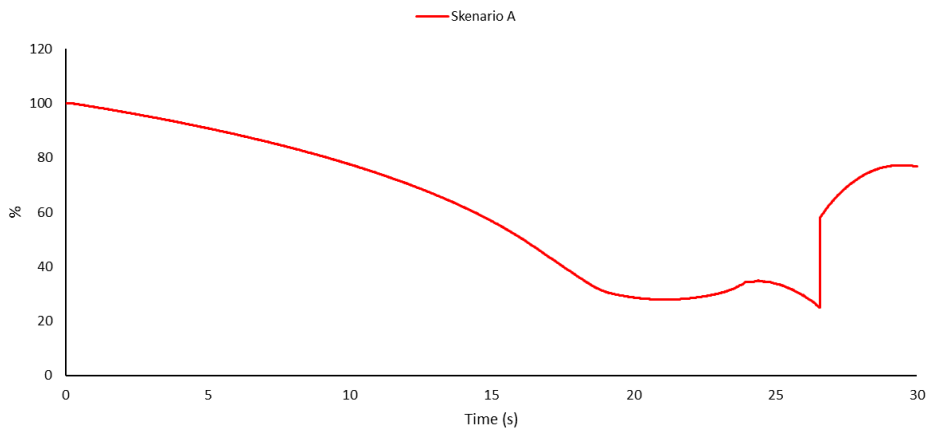




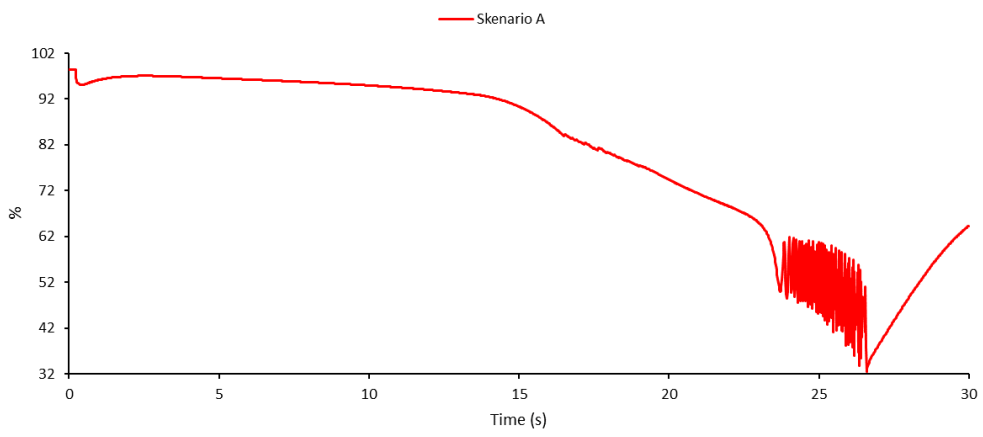
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi P1B Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*



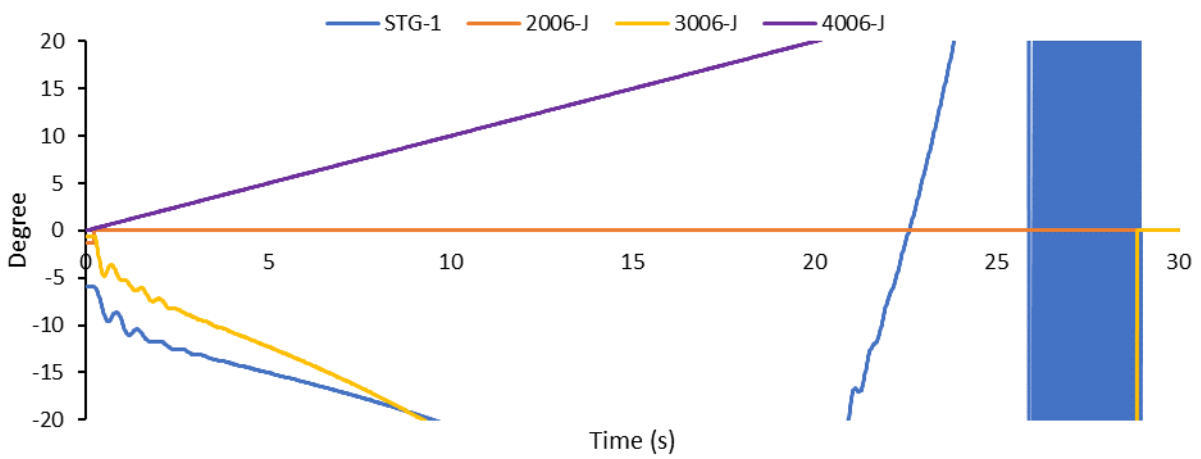
### FREQUENCY

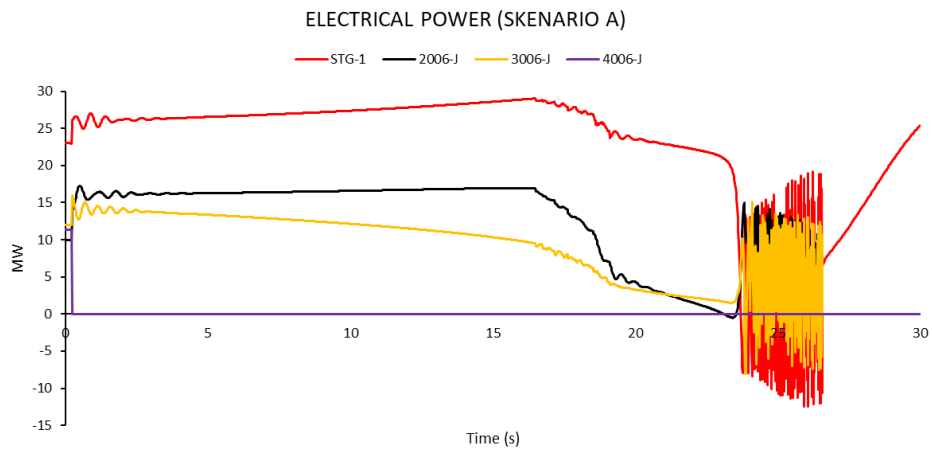
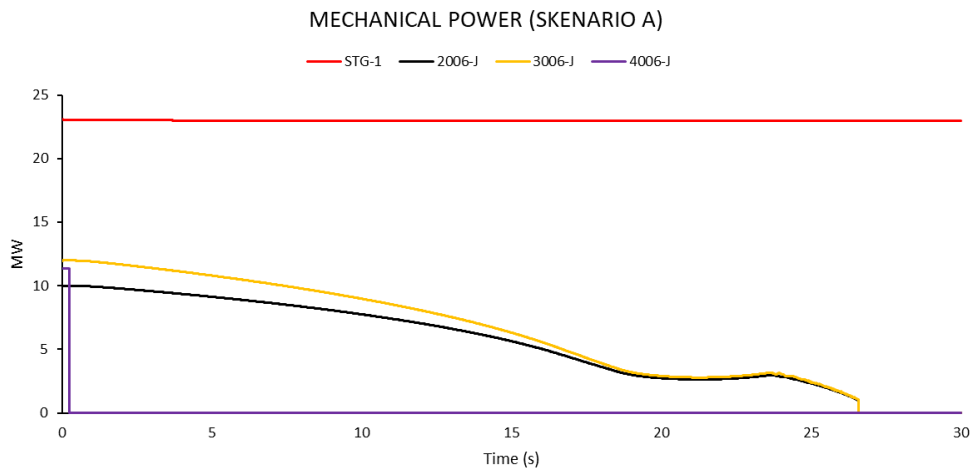


### VOLTAGE



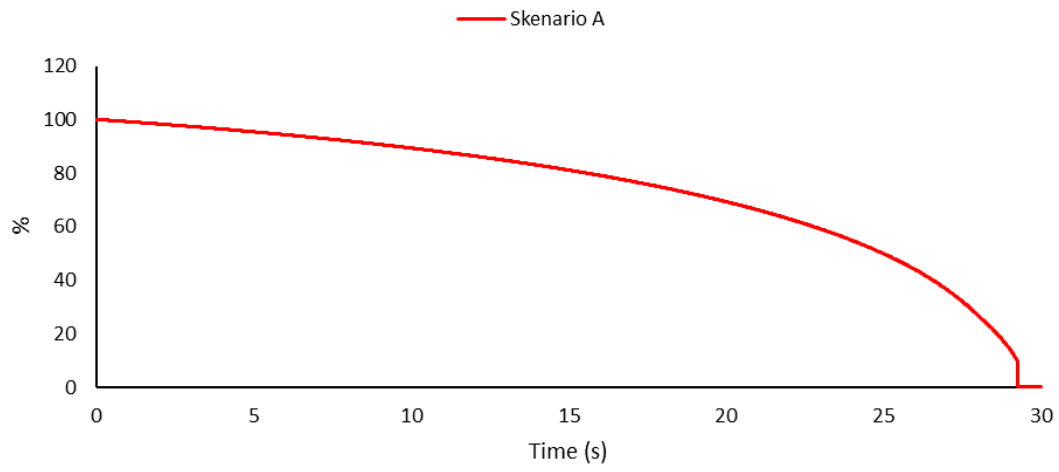
### POWER ANGLE (SKENARIO A)



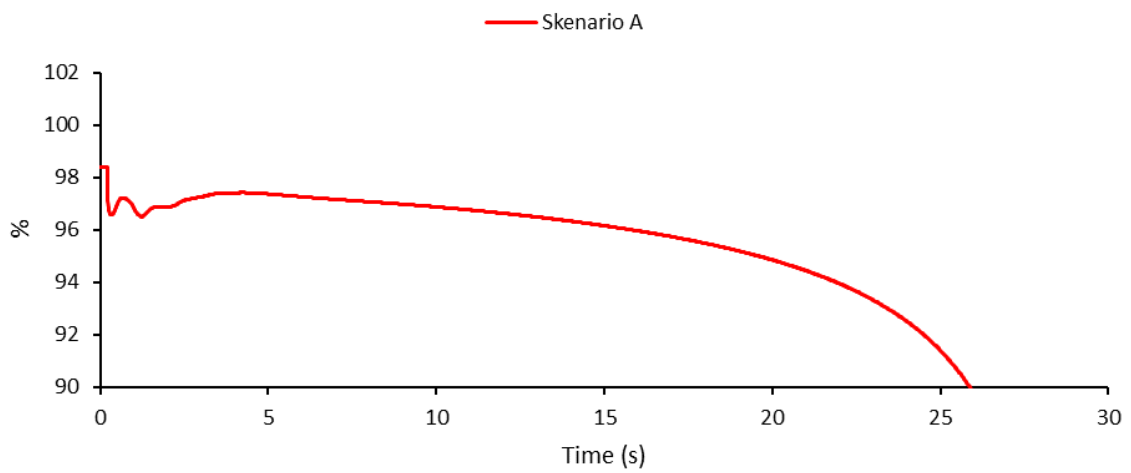


- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi STG Off, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

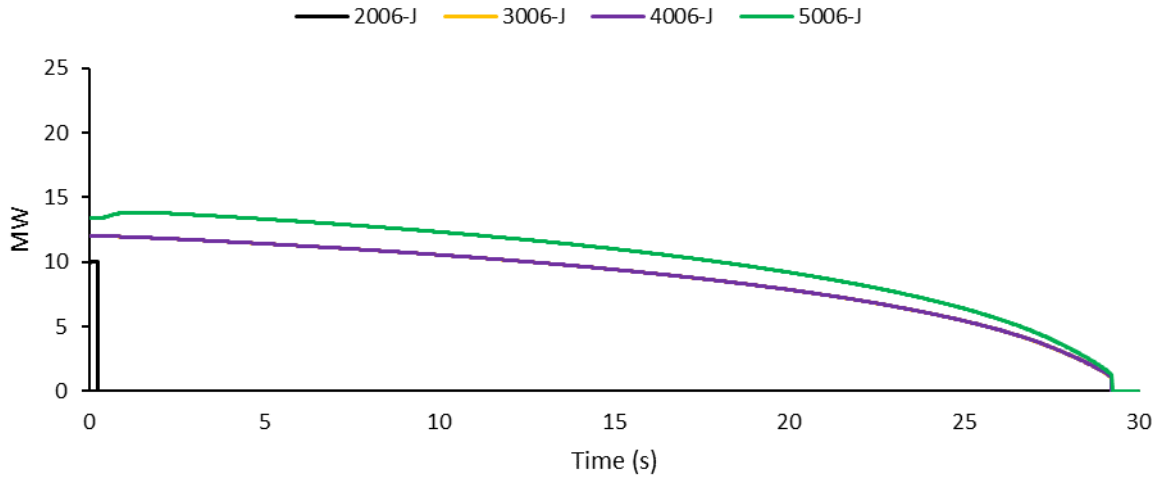
### FREQUENCY



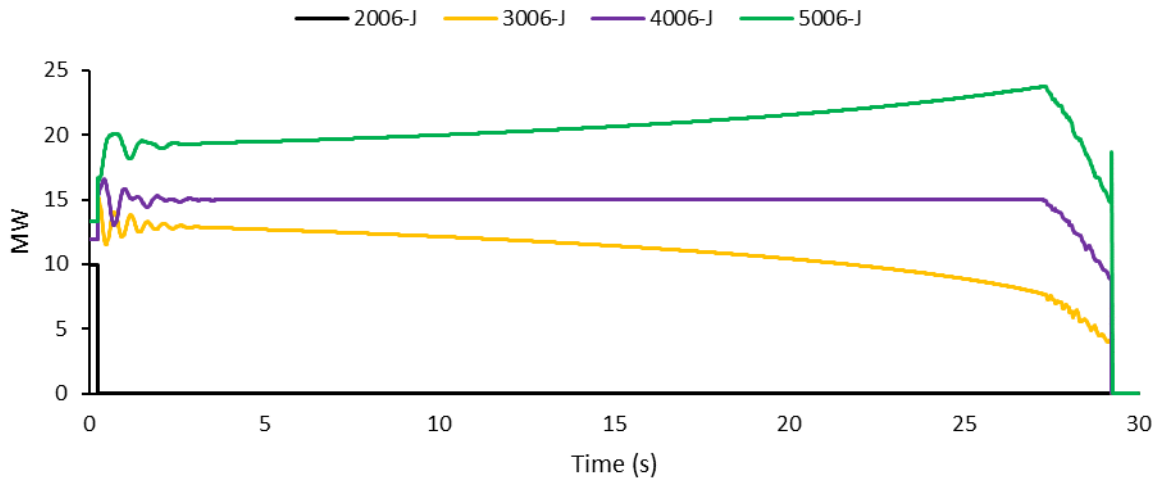
### VOLTAGE



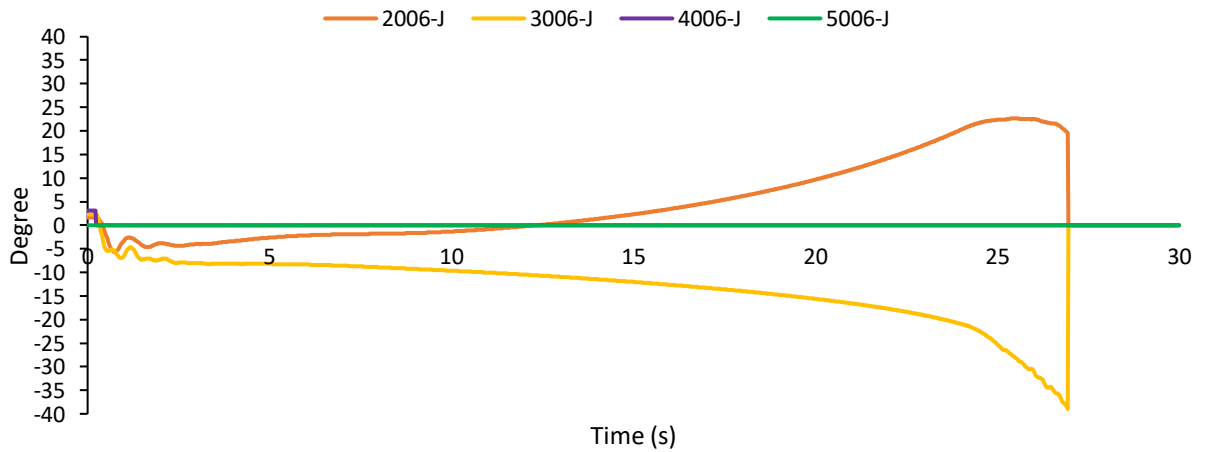
### MECHANICAL POWER (SKENARIO A)



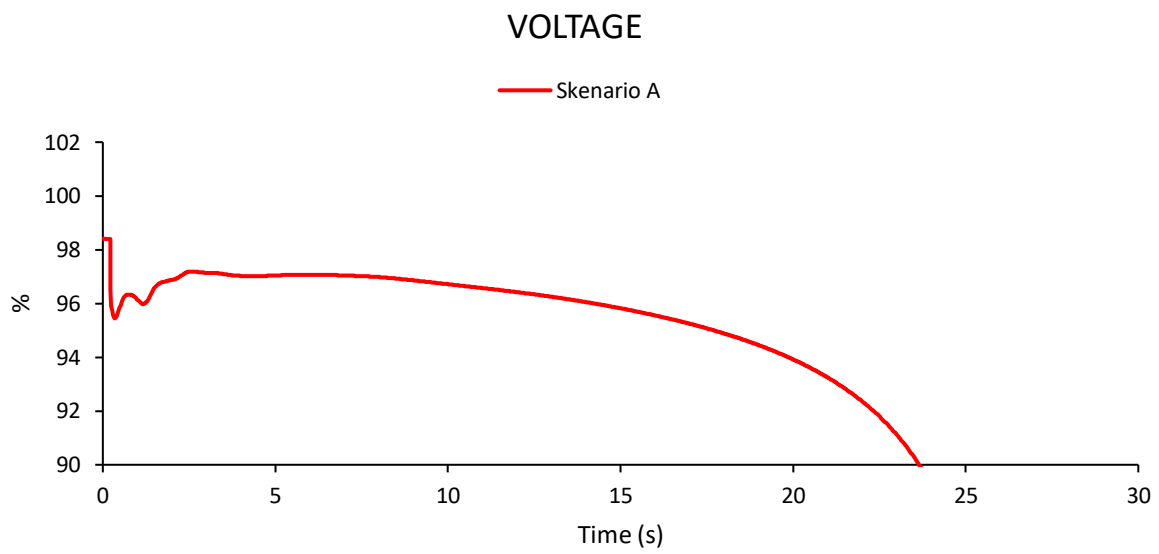
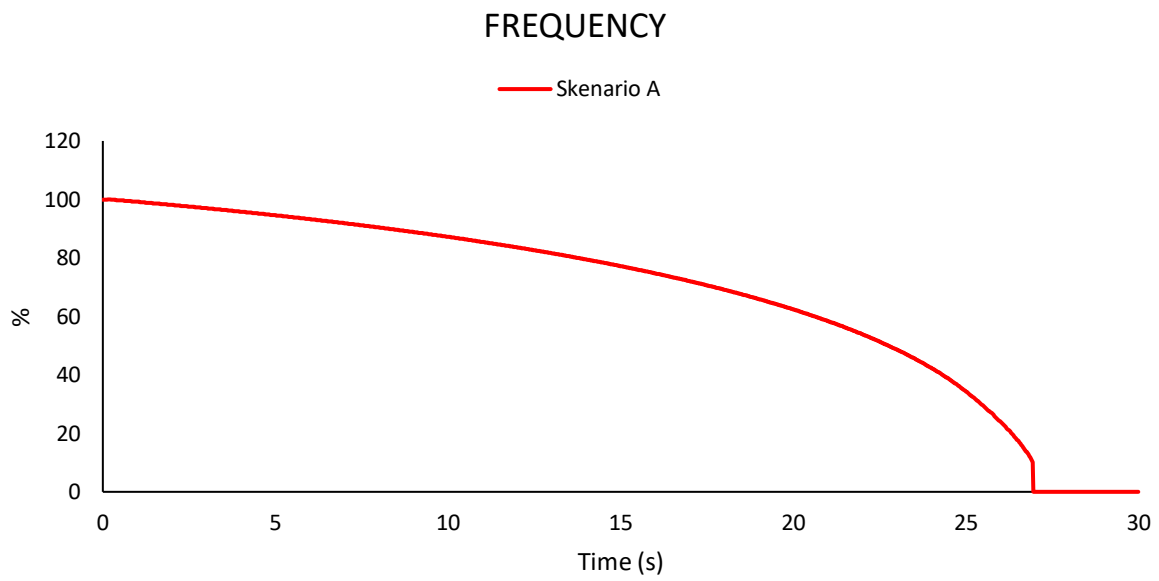
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO A)



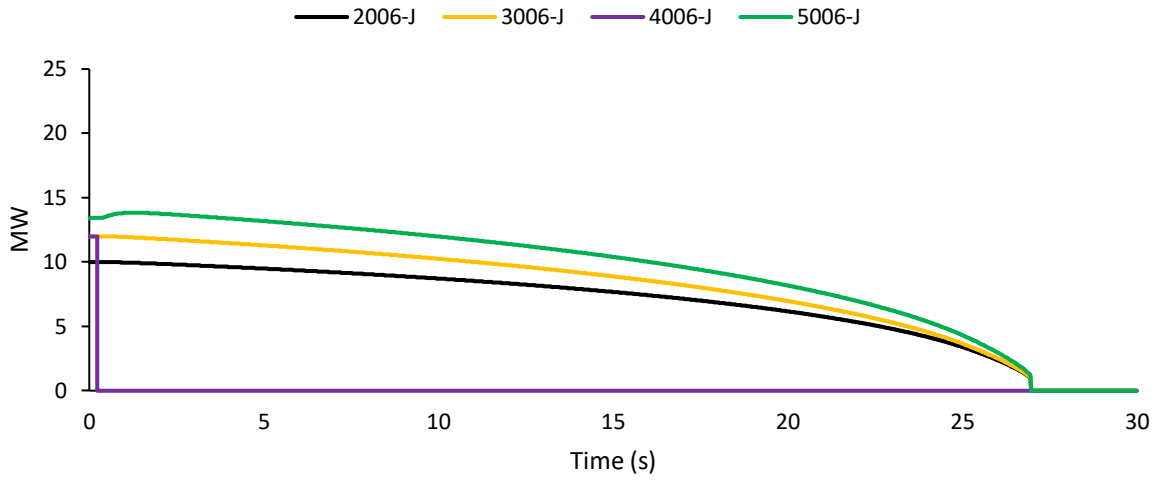
### POWER ANGLE (SKENARIO A)



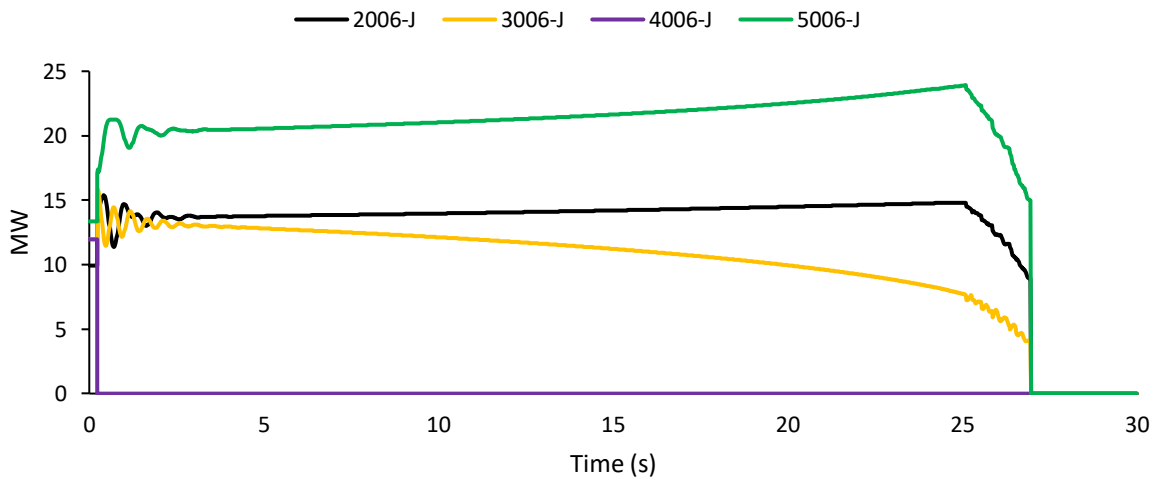
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi STG Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



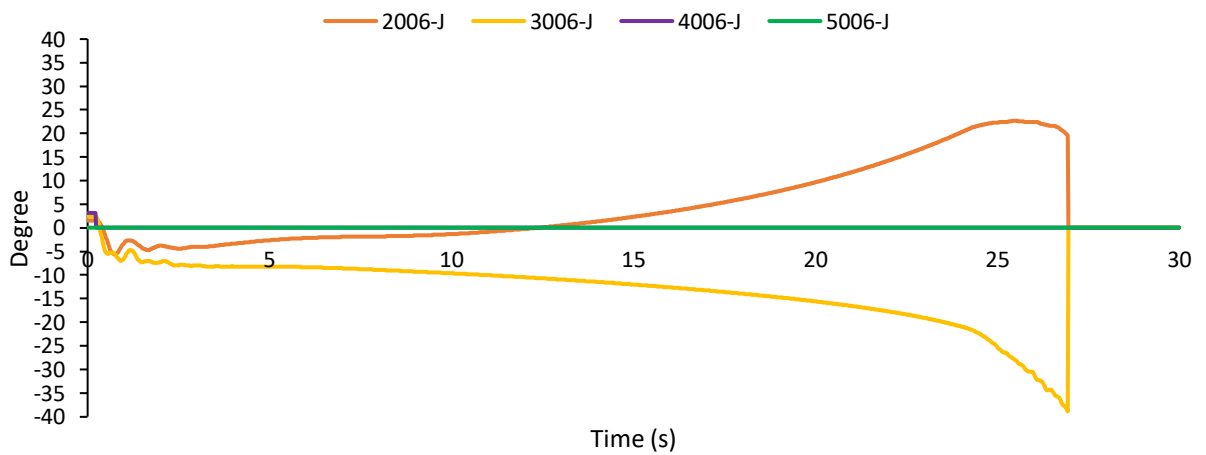
### MECHANICAL POWER (SKENARIO A)



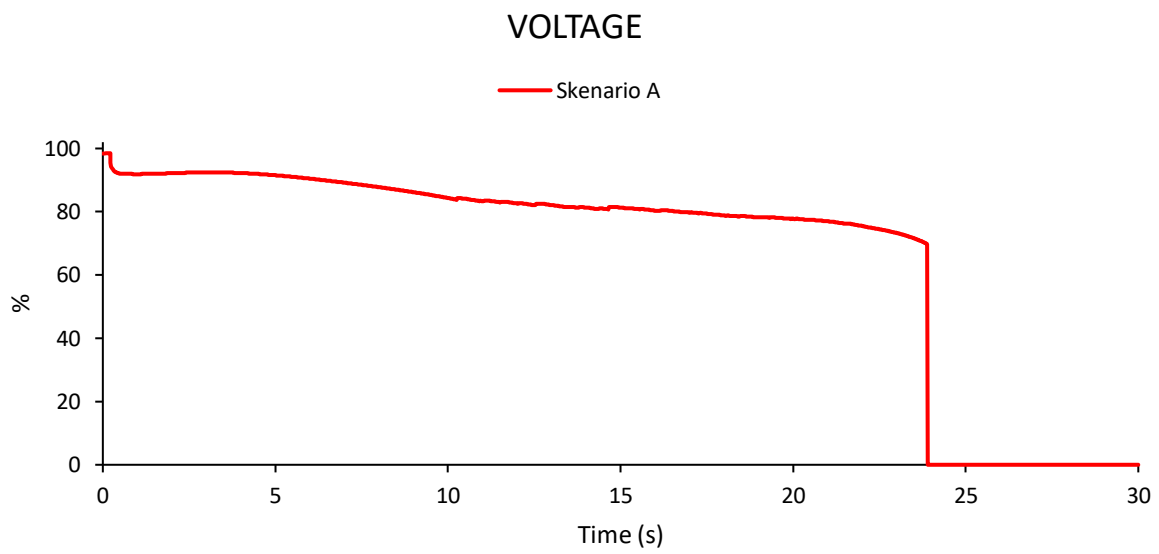
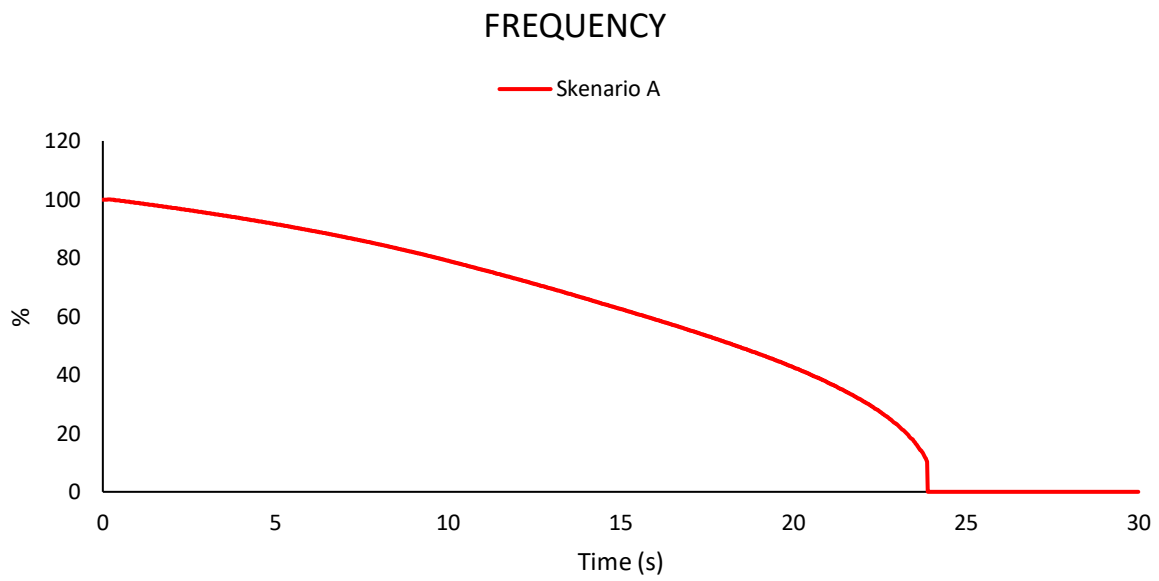
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO A)



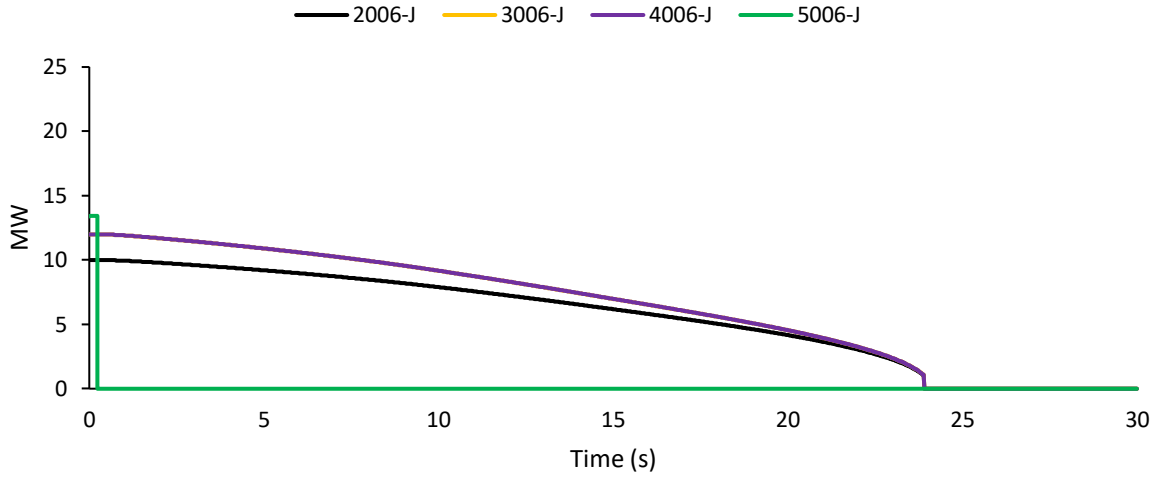
### POWER ANGLE (SKENARIO A)



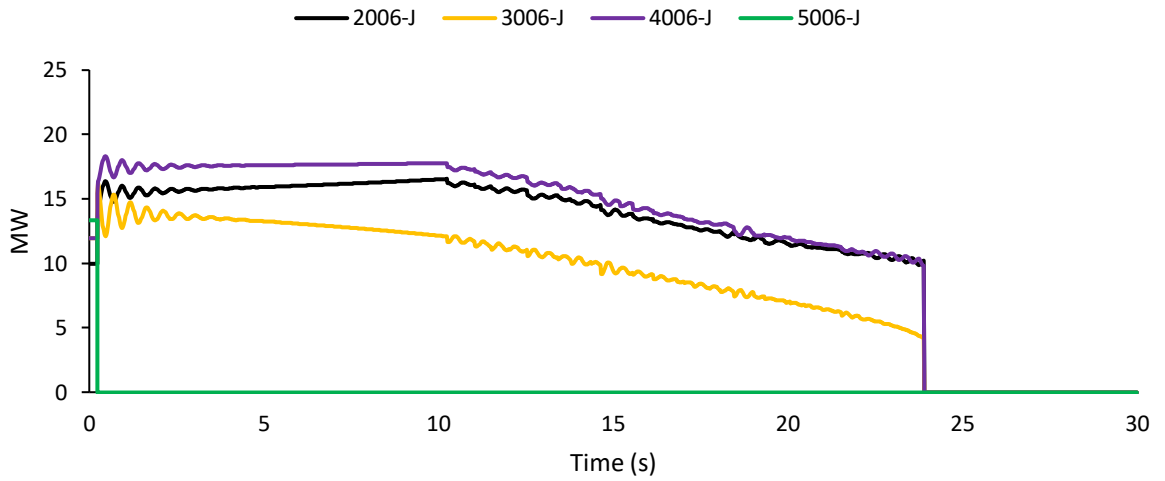
- *Studi Kasus Skenario A Pola Operasi STG Off, Generator PIB Outage dari Sistem (t=0.225s)*



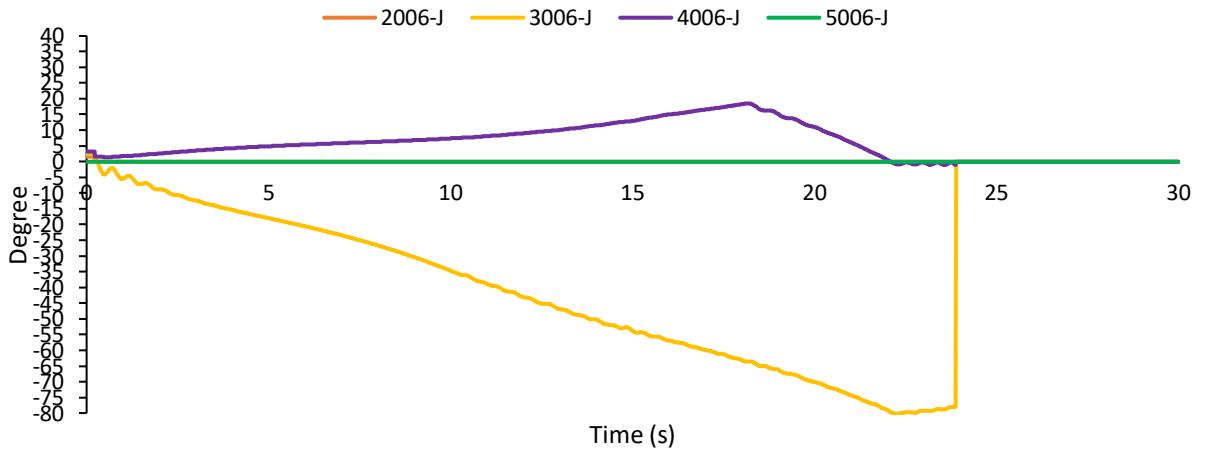
### MECHANICAL POWER (SKENARIO A)



### ELECTRICAL POWER (SKENARIO A)



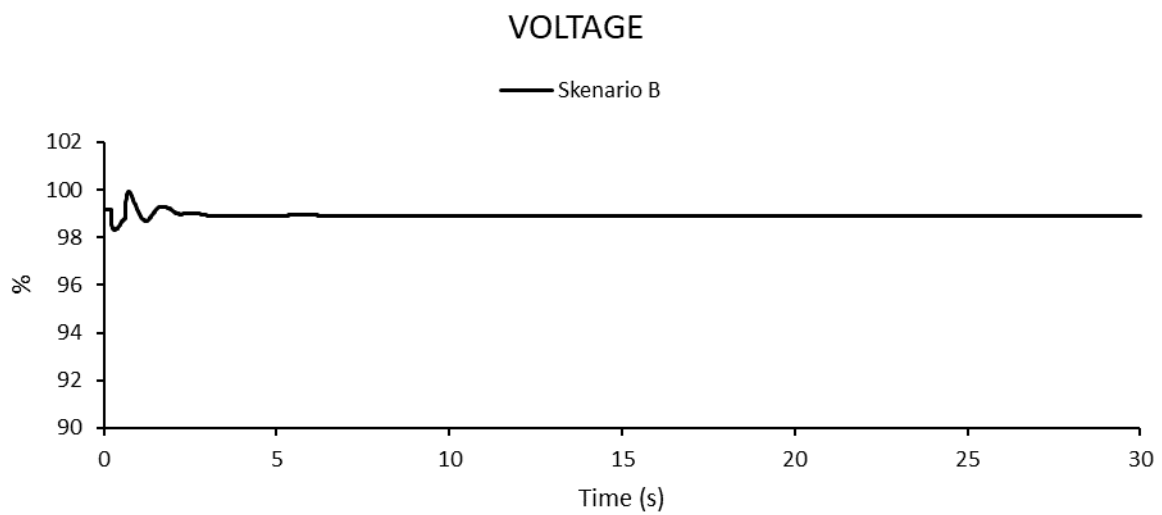
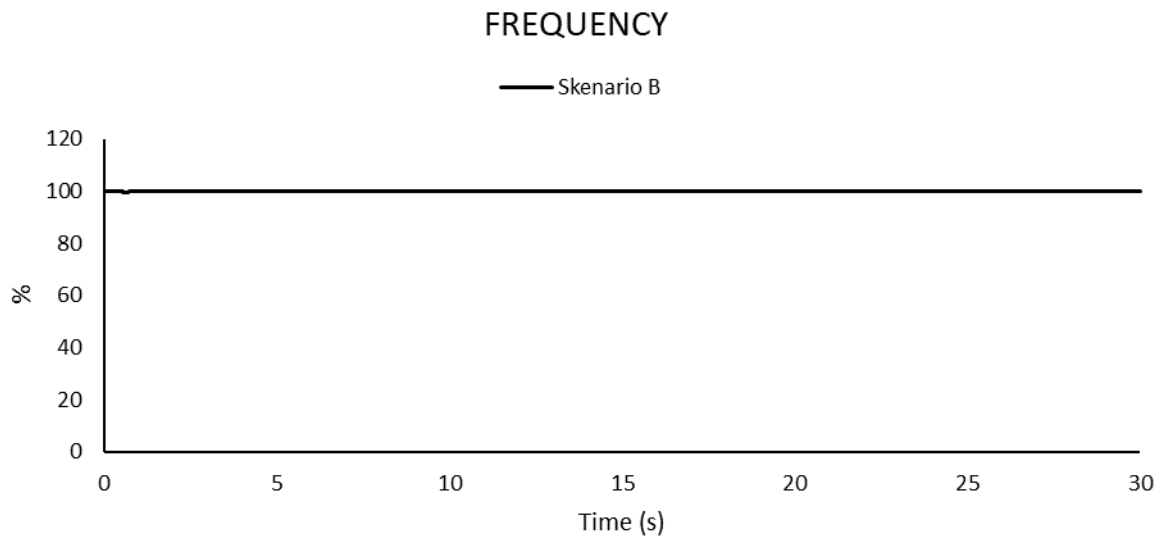
### POWER ANGLE (SKENARIO A)



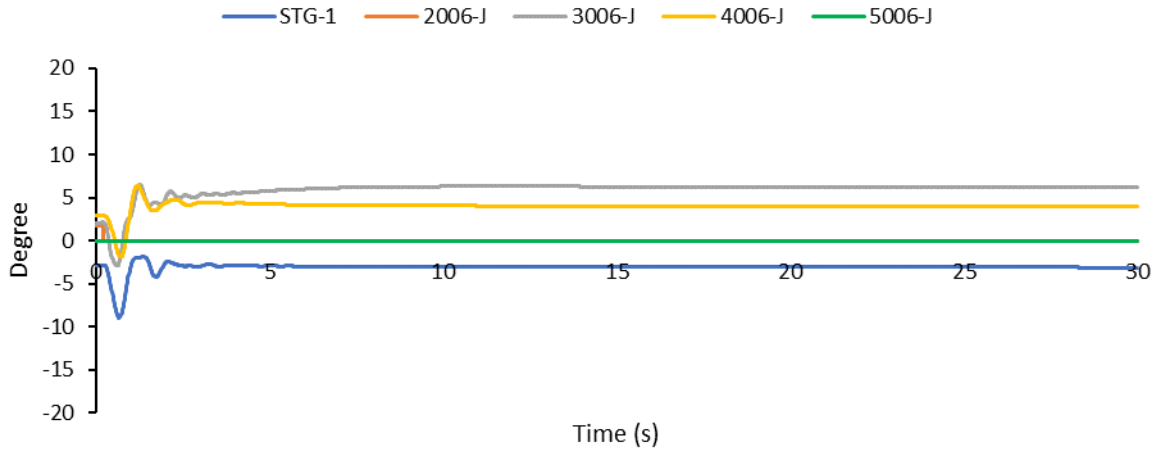


**Skenario B: Eksisting Status**

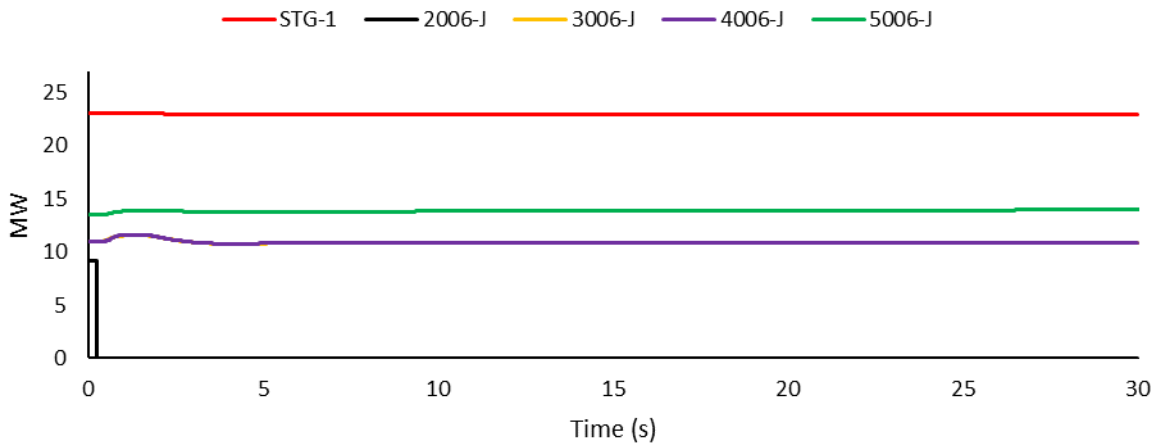
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



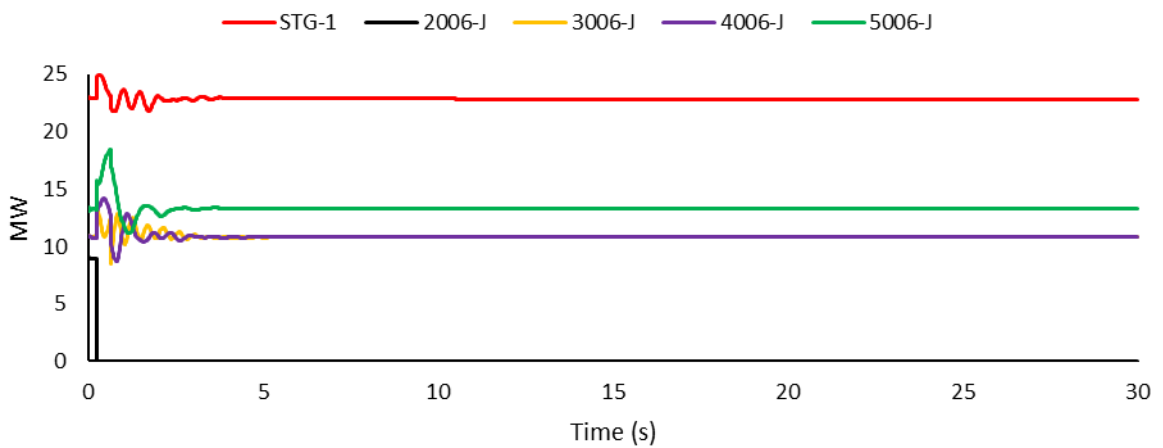
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



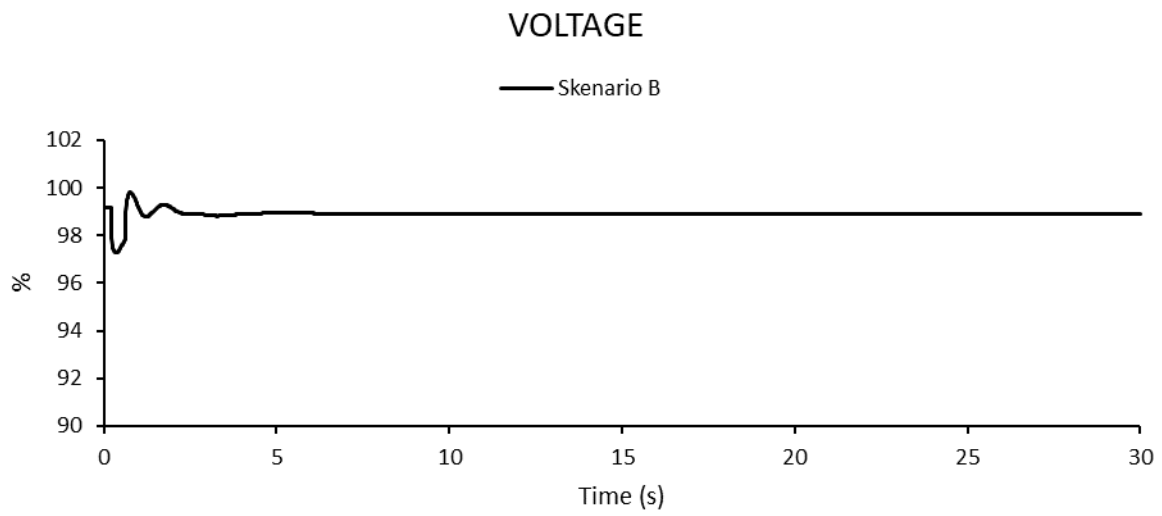
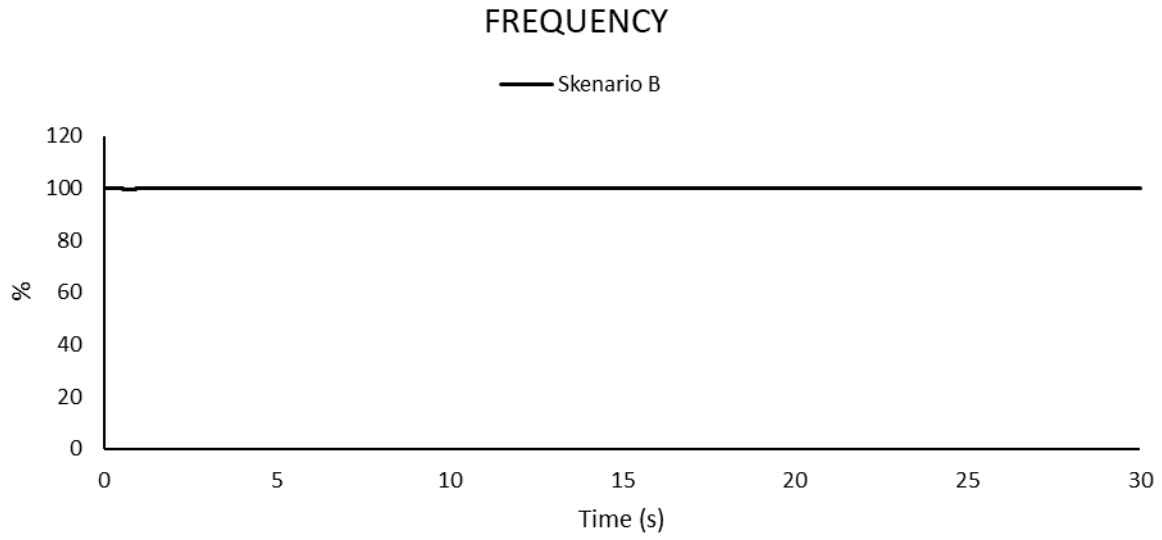
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



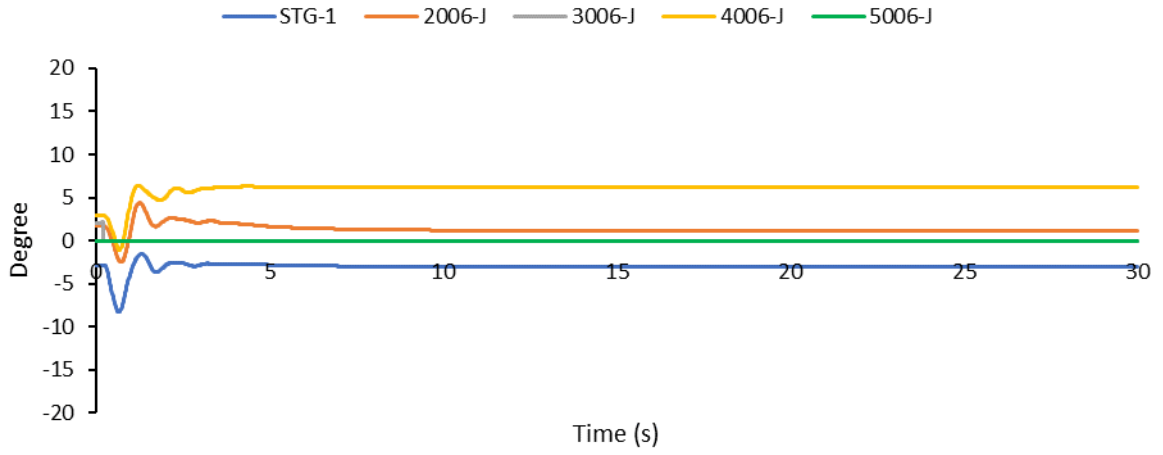
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



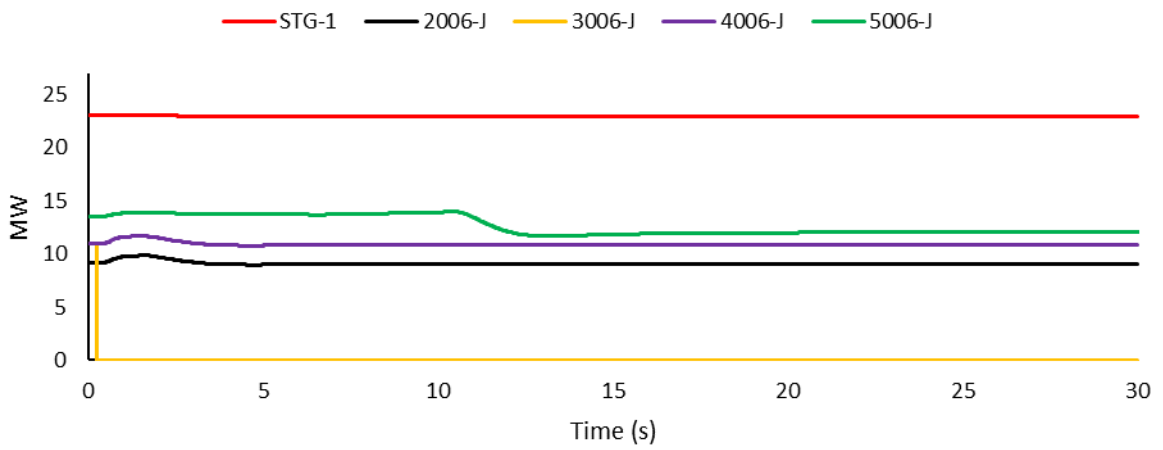
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



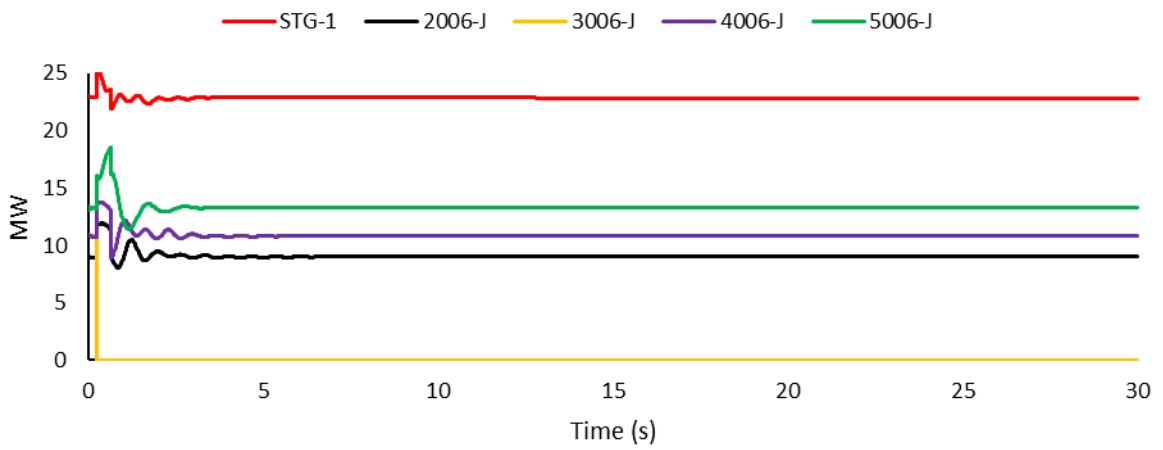
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



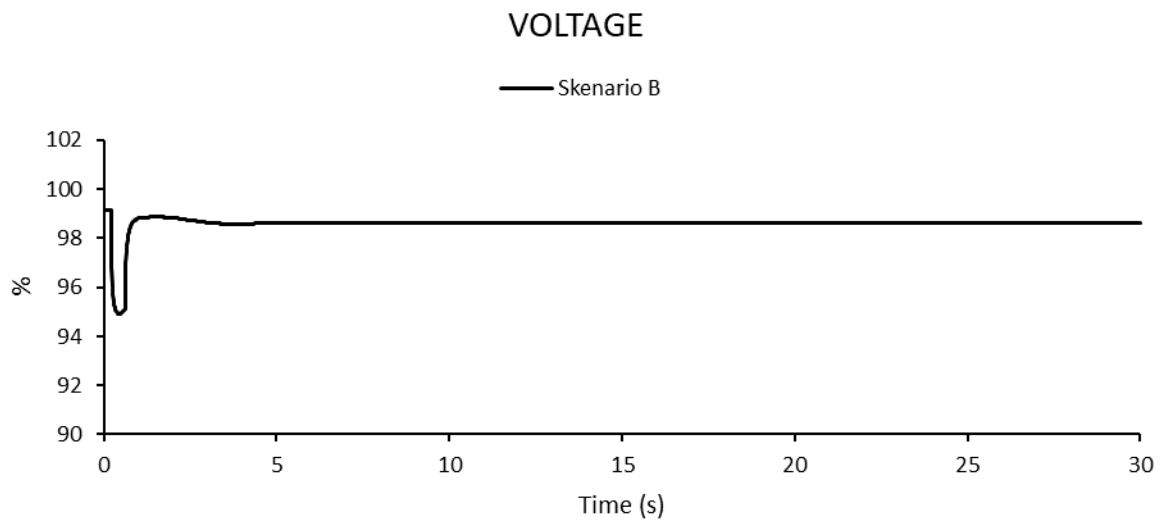
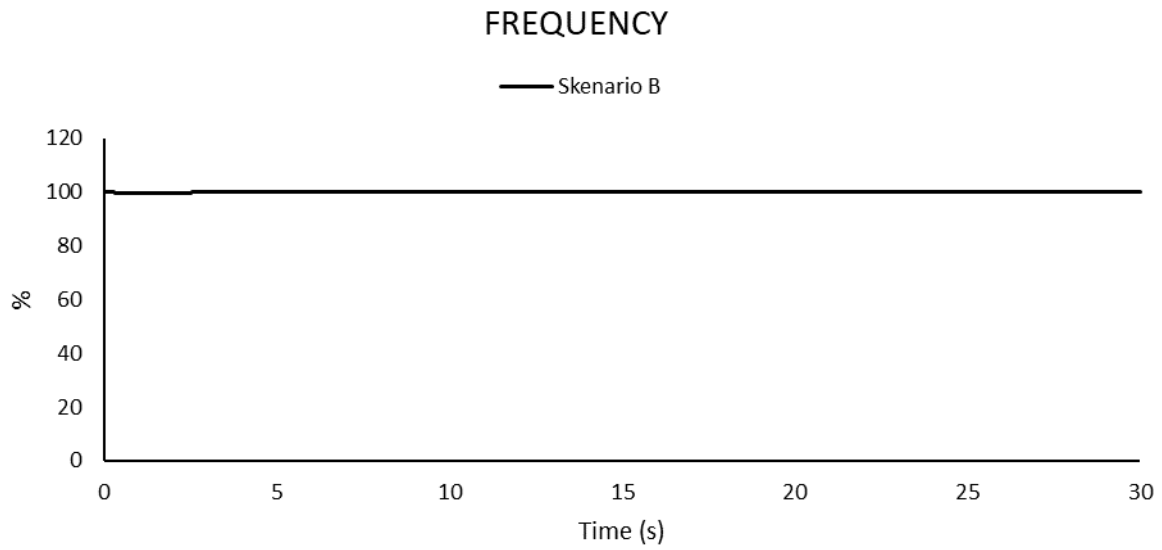
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



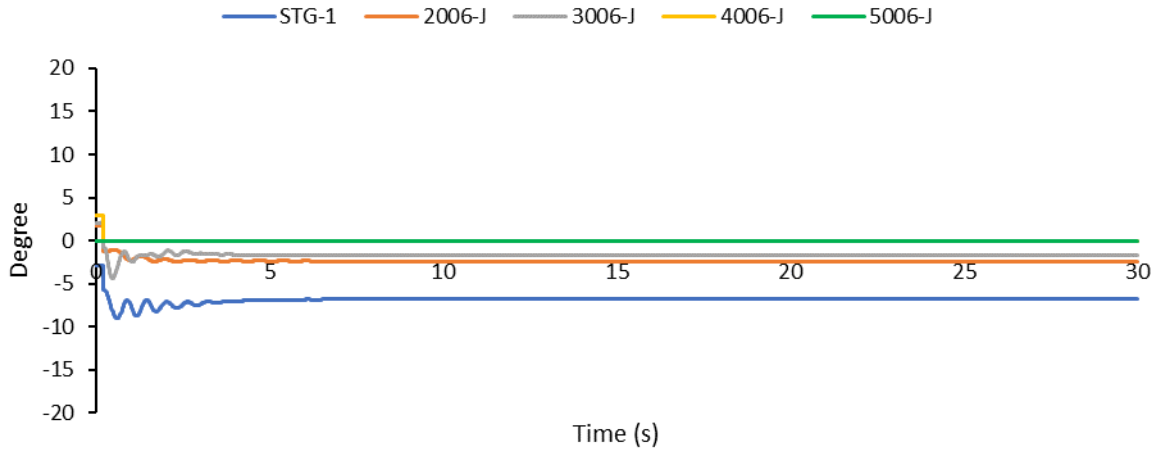
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



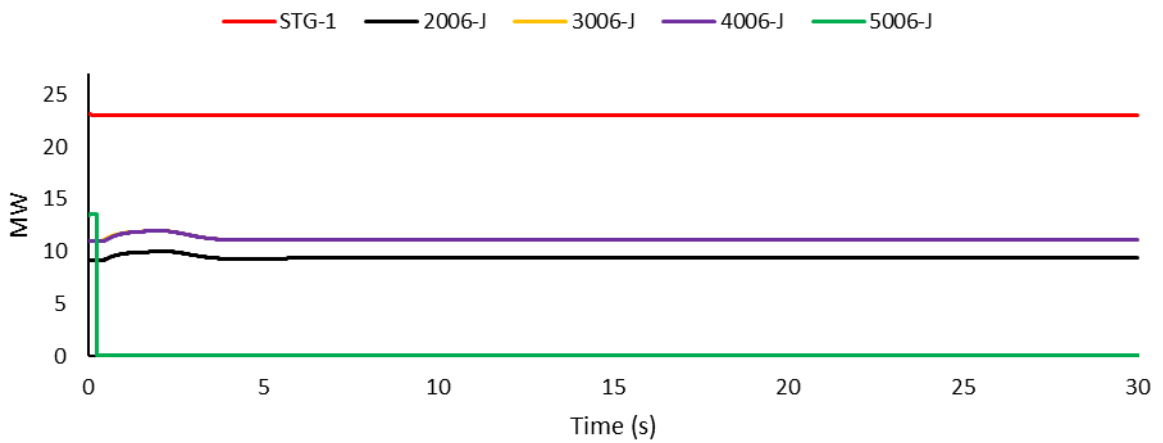
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*



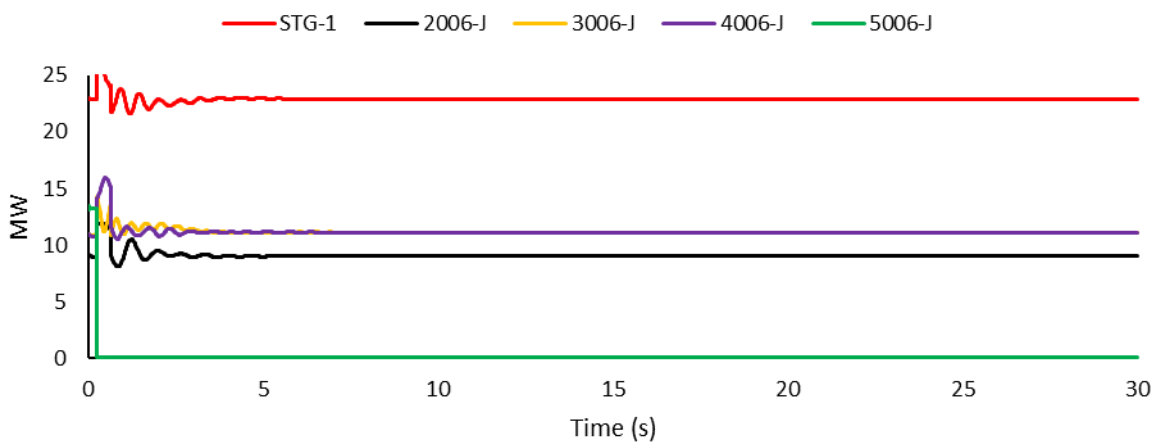
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



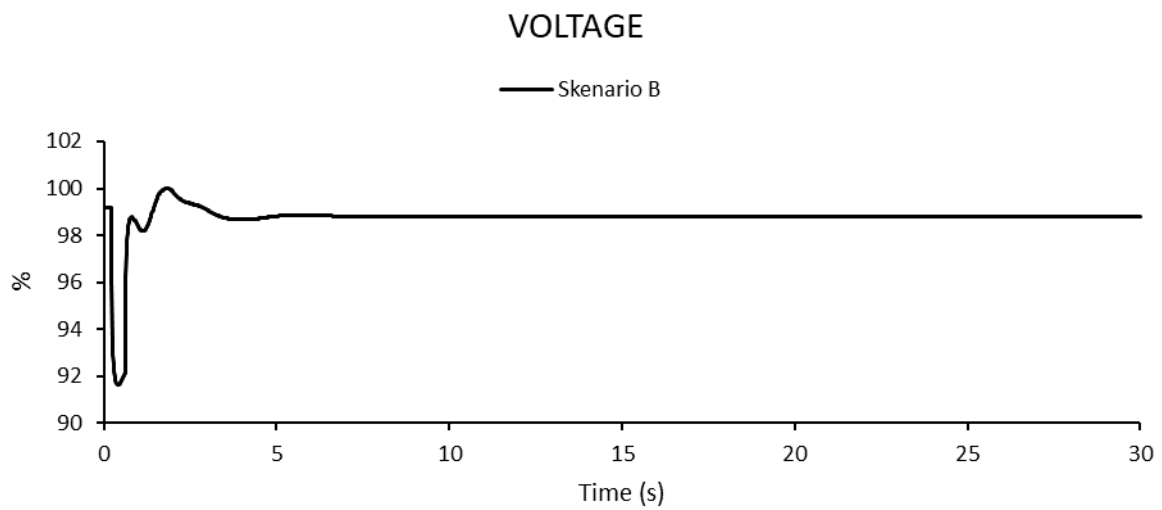
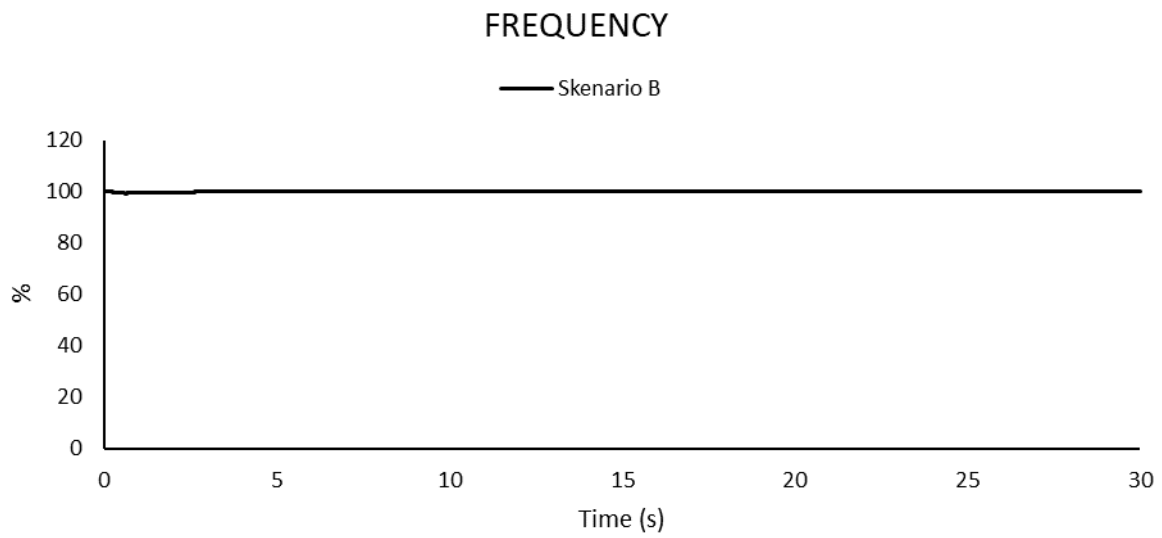
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



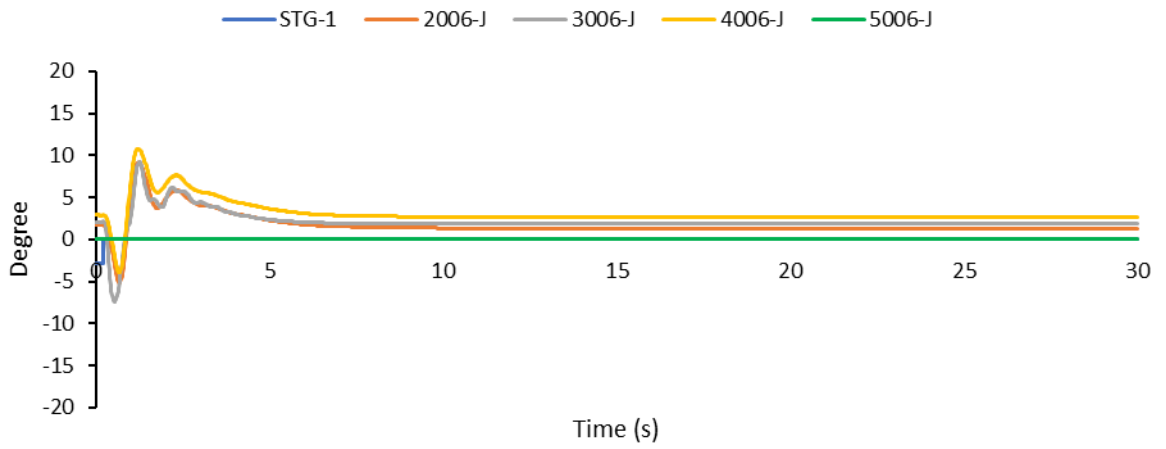
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



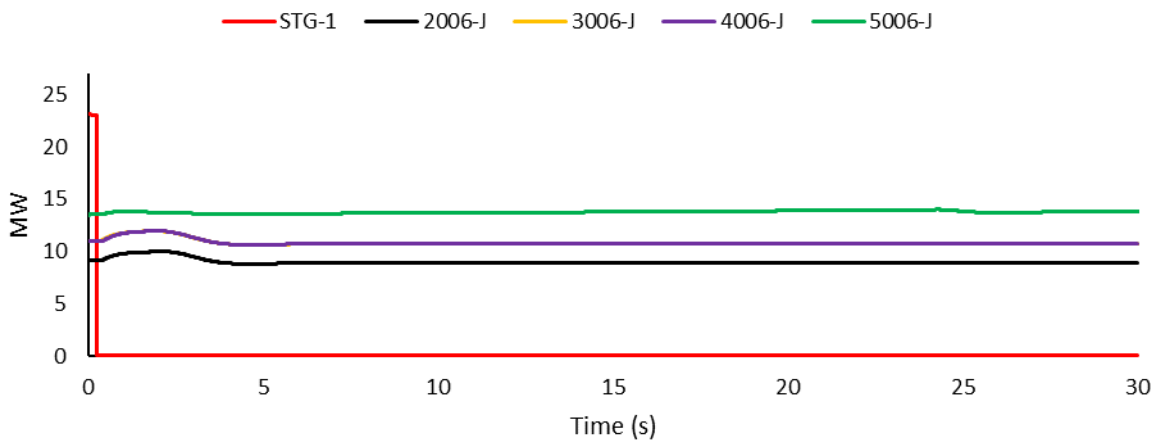
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*



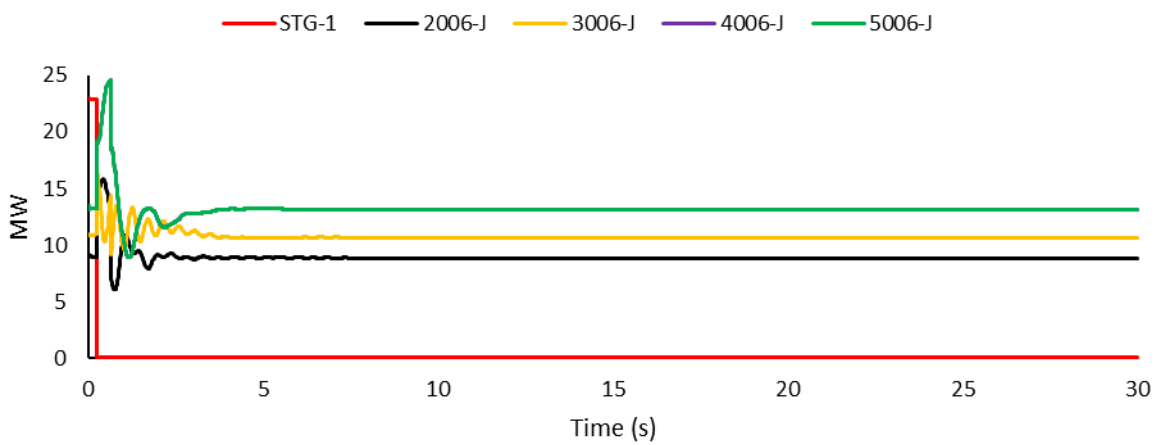
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)

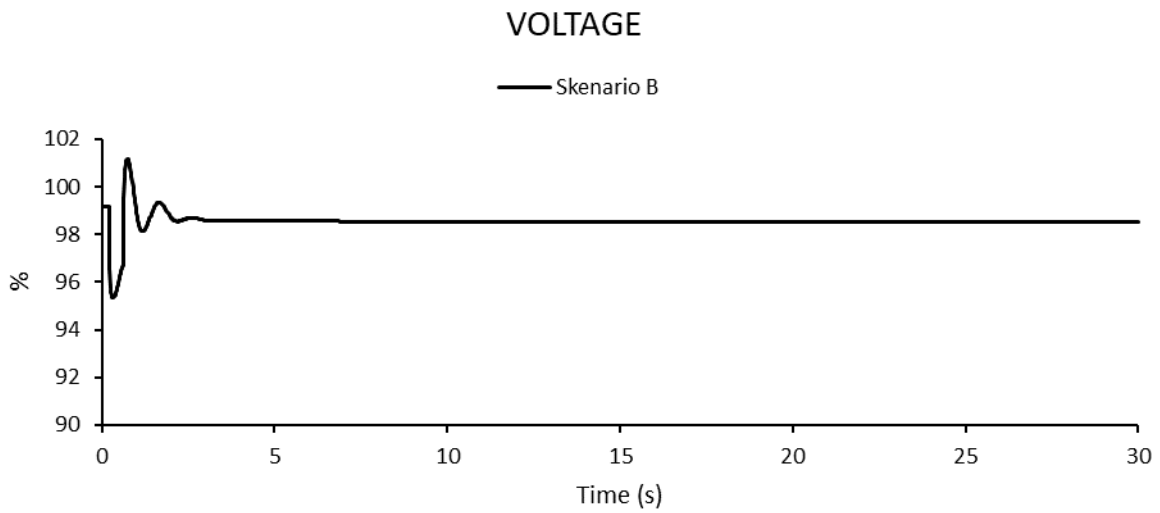
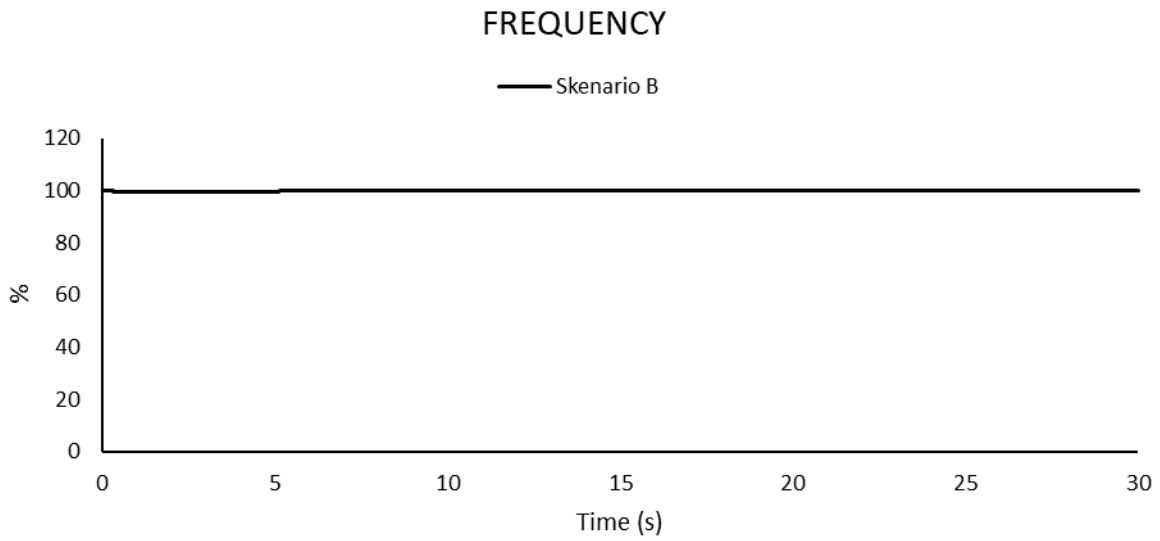


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)

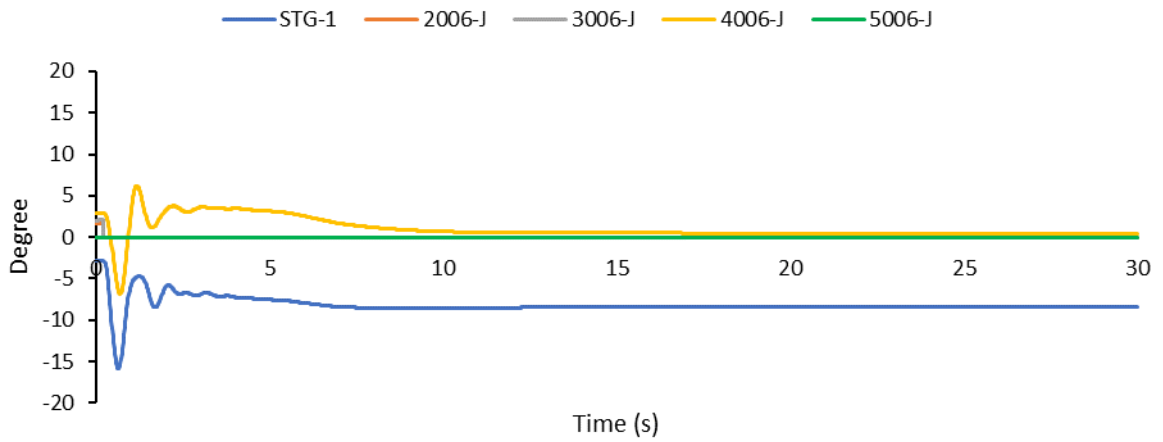




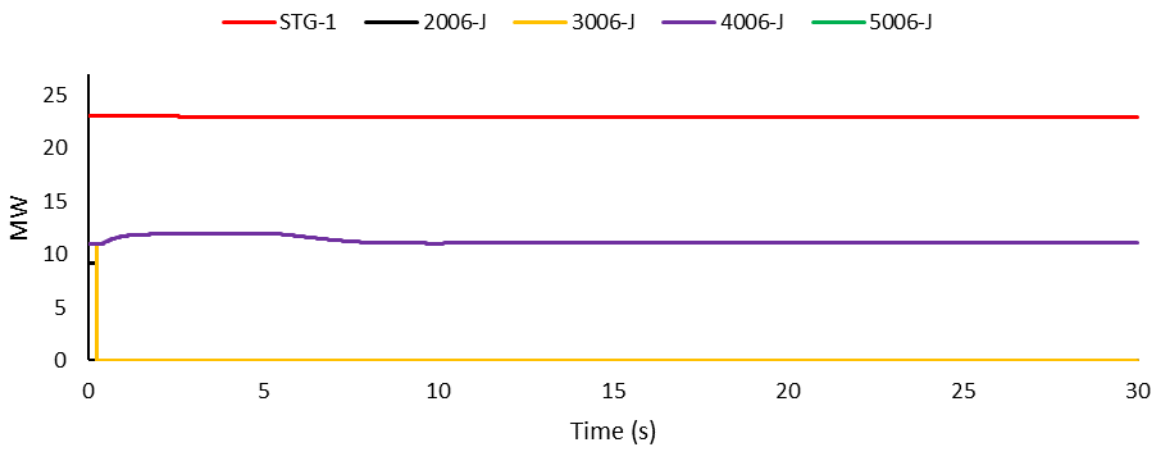
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P2 & P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



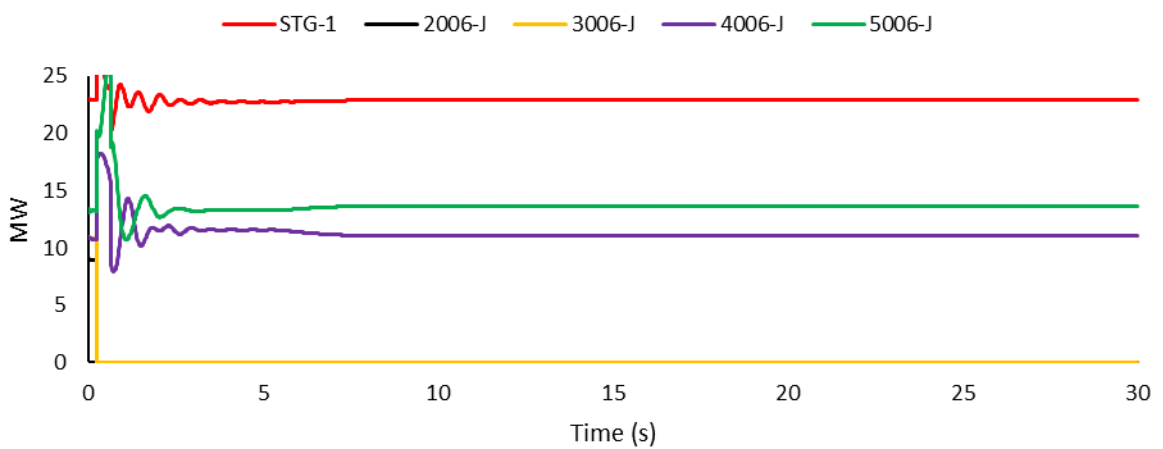
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



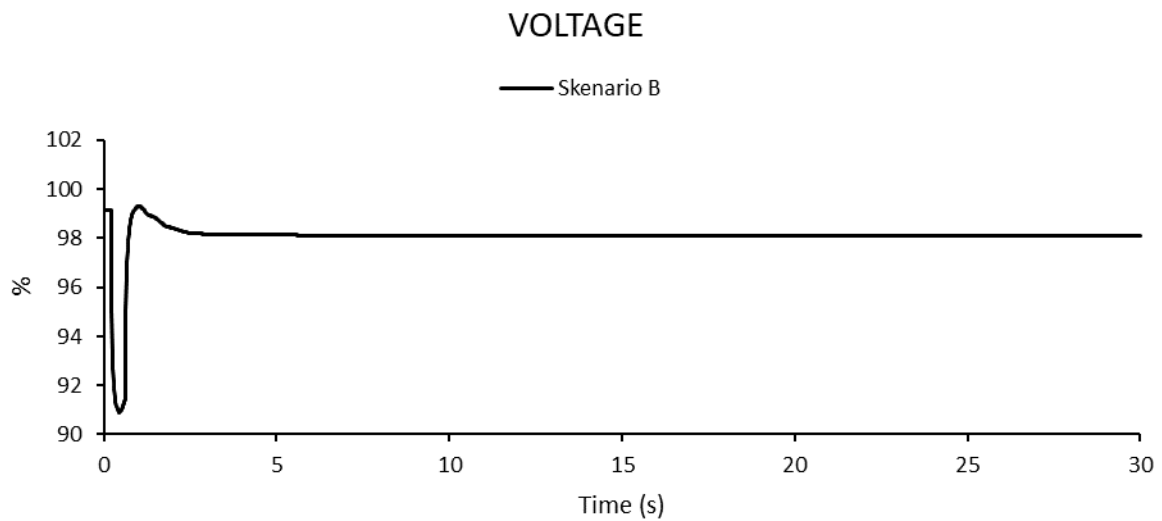
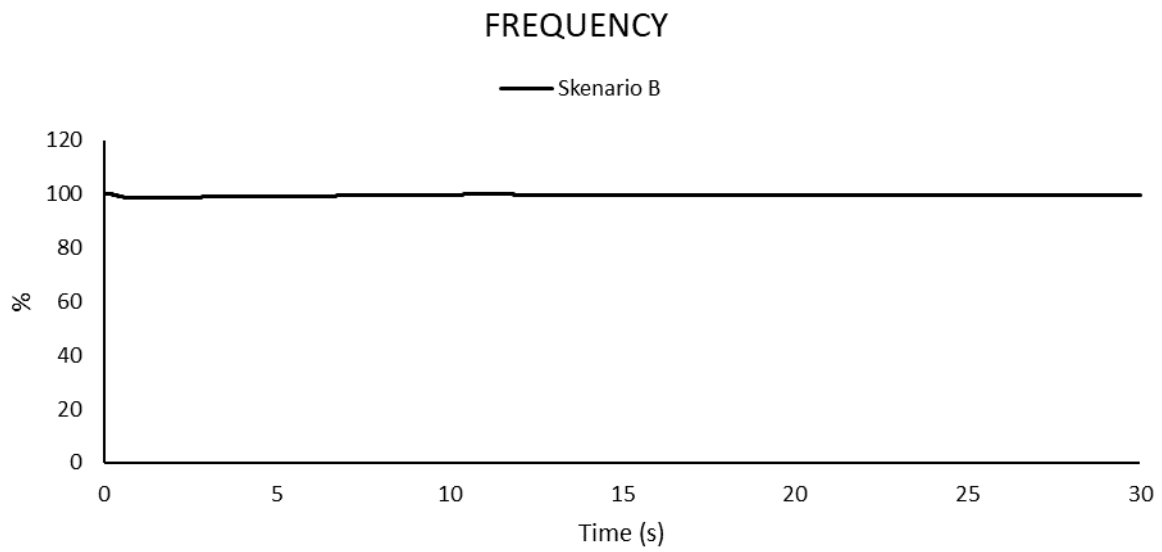
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



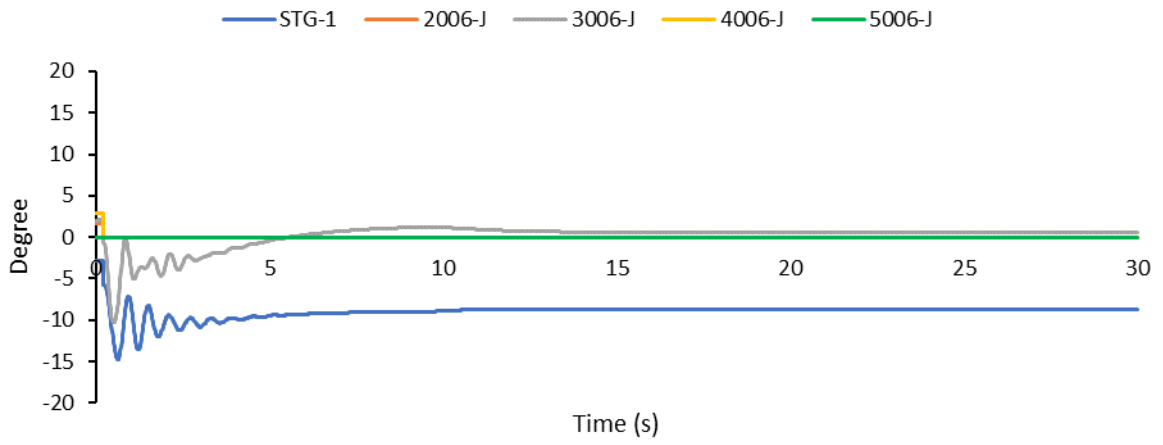
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



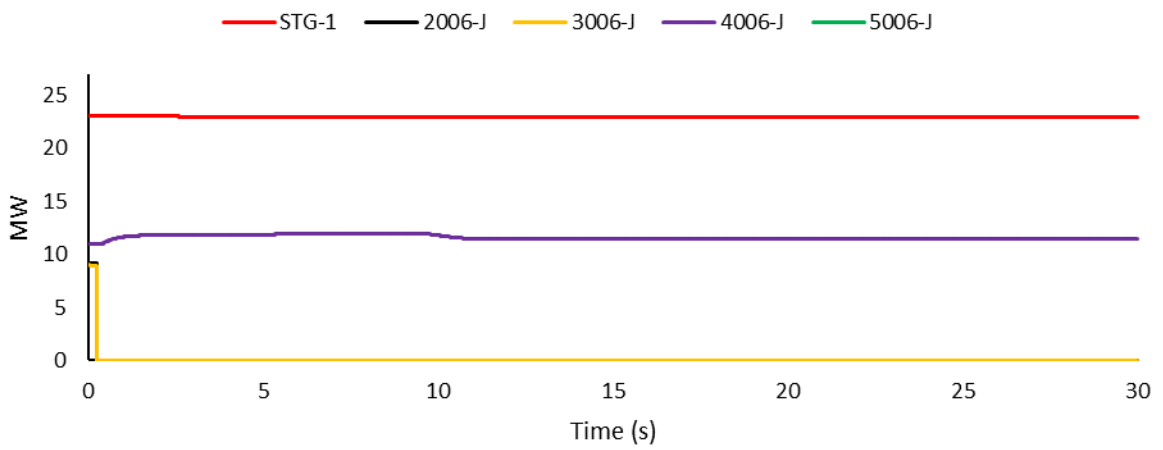
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P2 & P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*



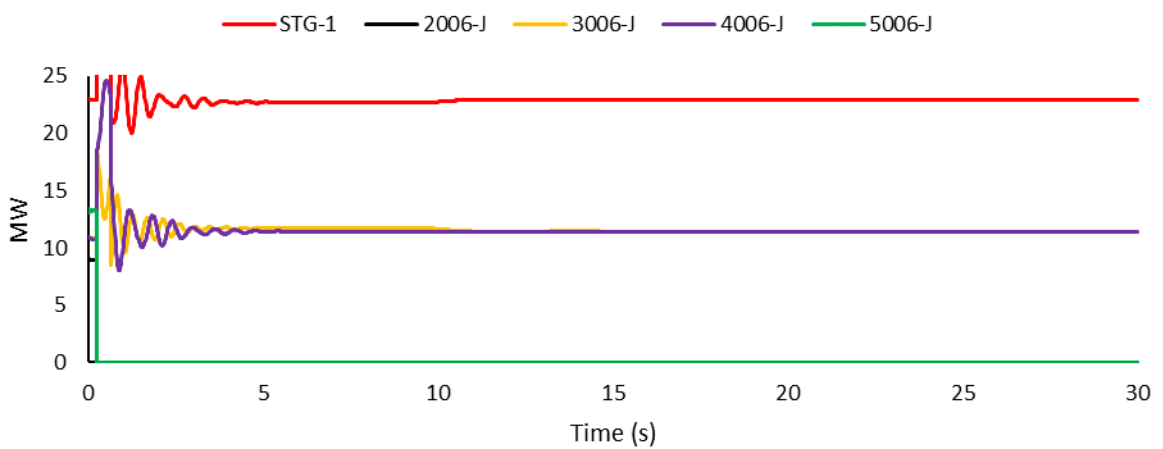
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



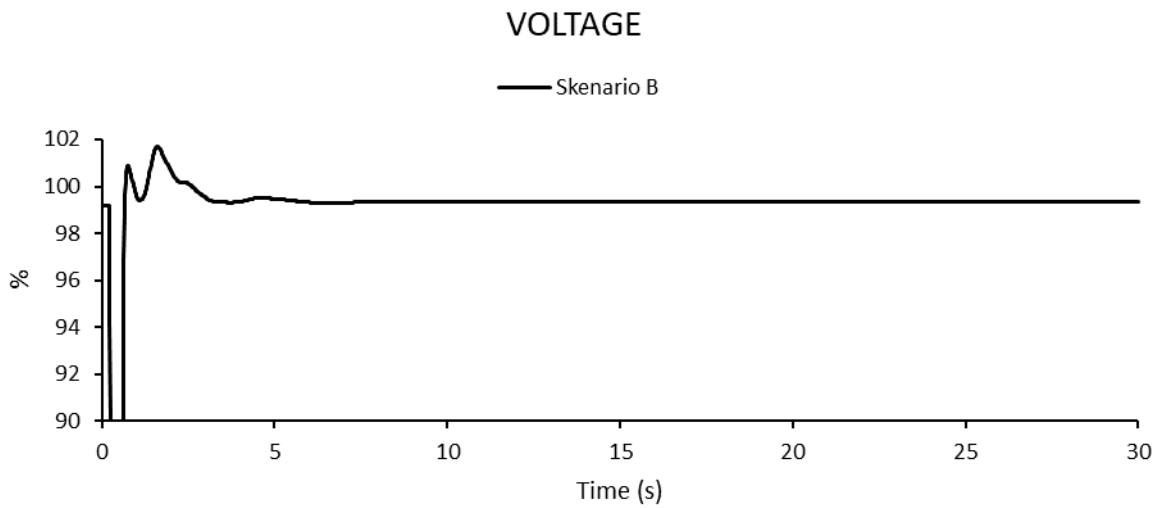
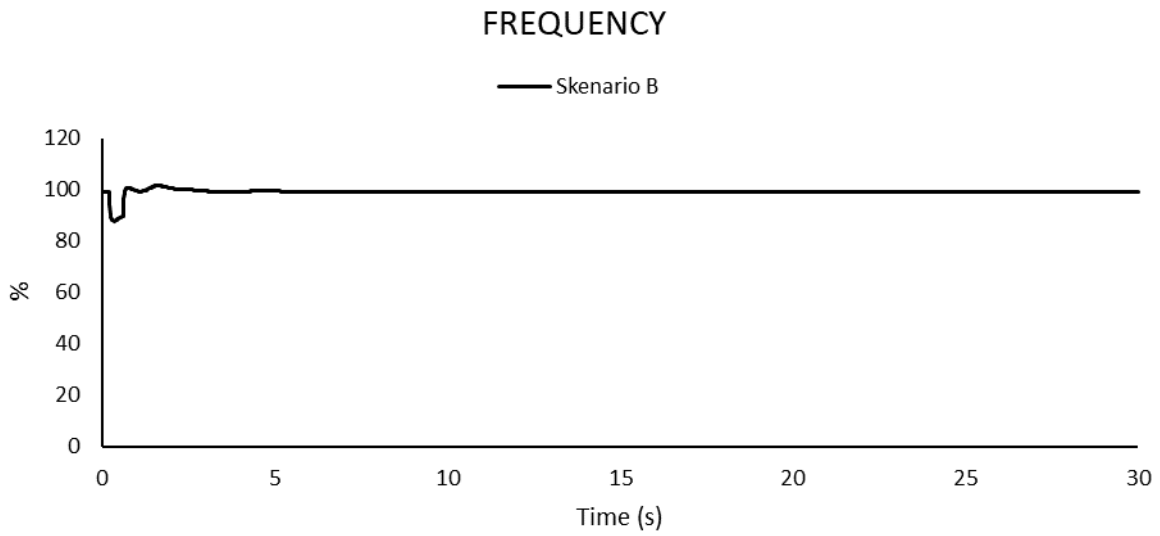
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



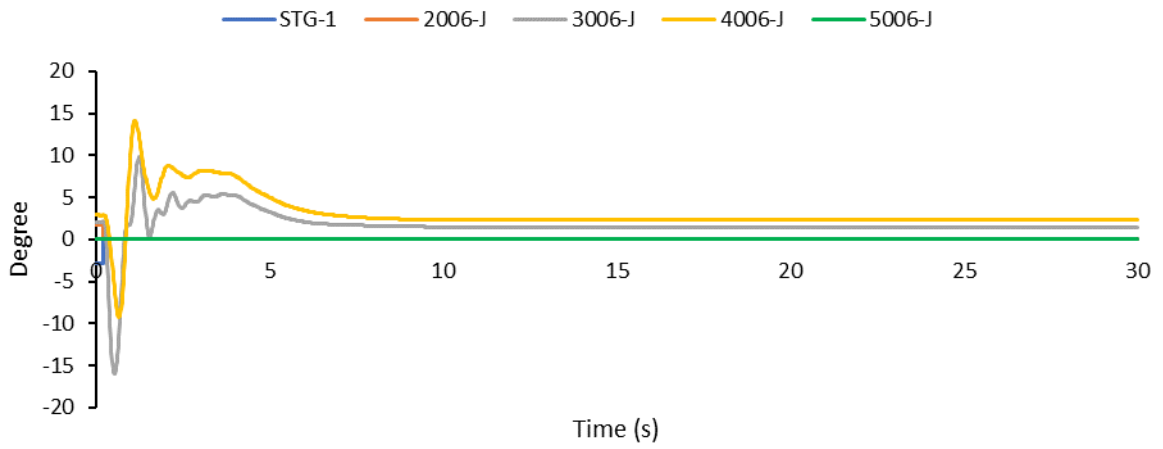
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



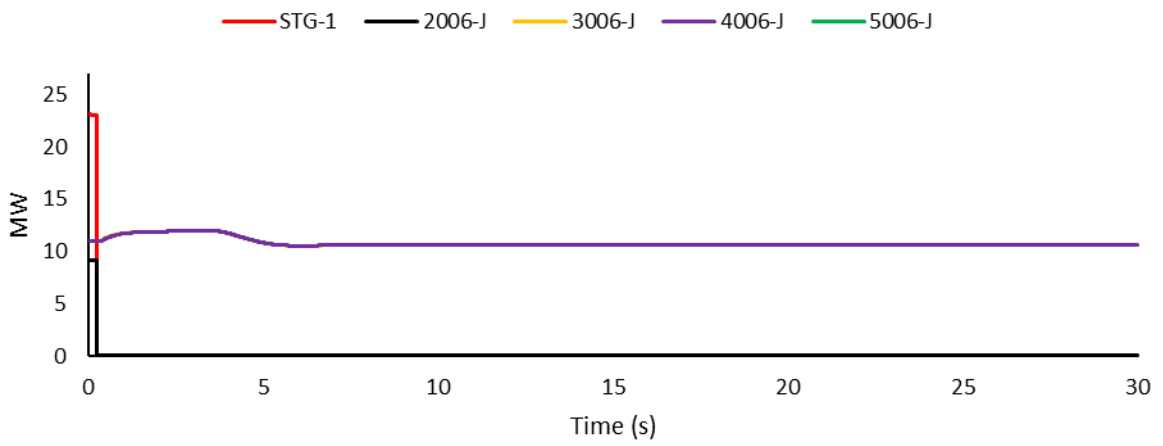
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator STG & P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



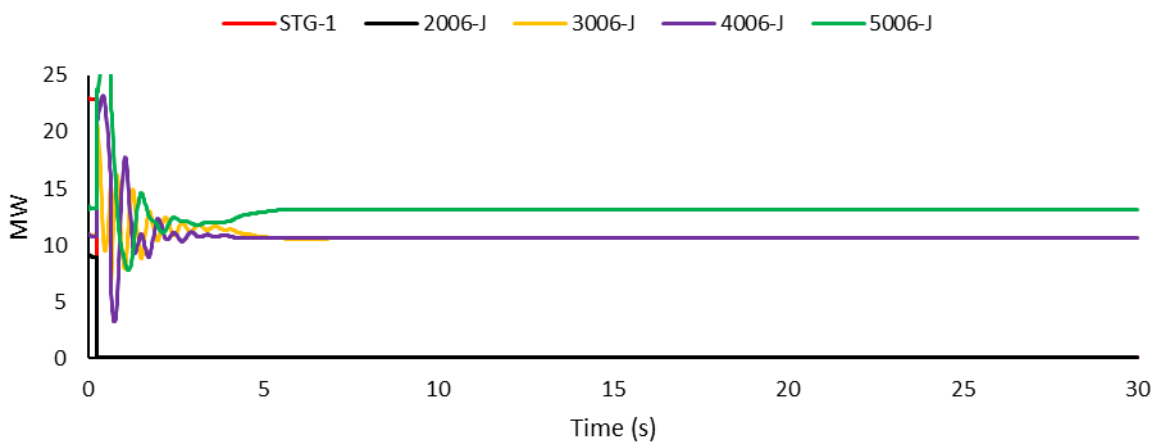
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



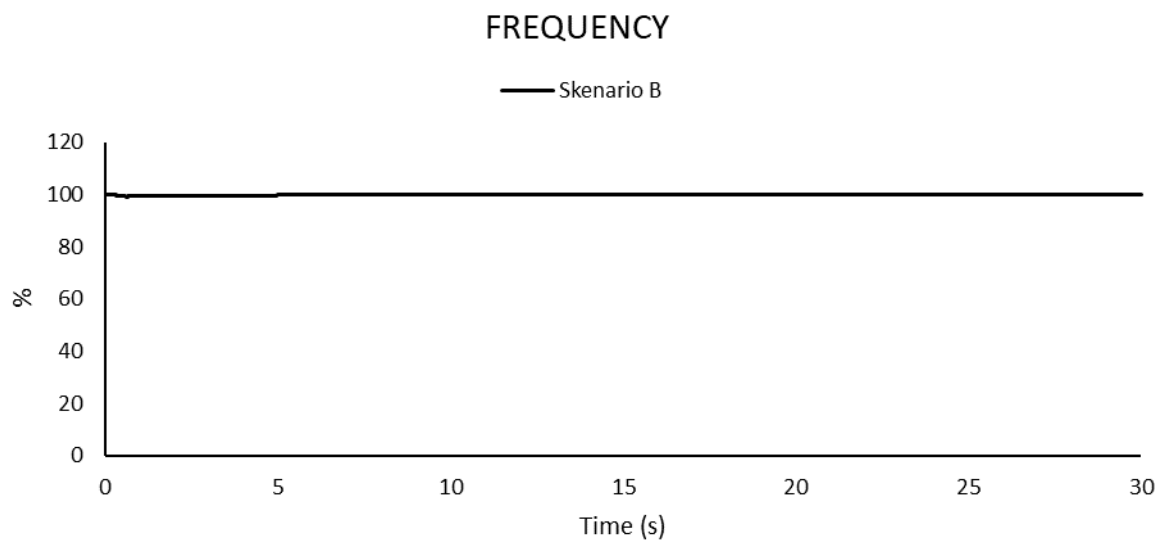
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



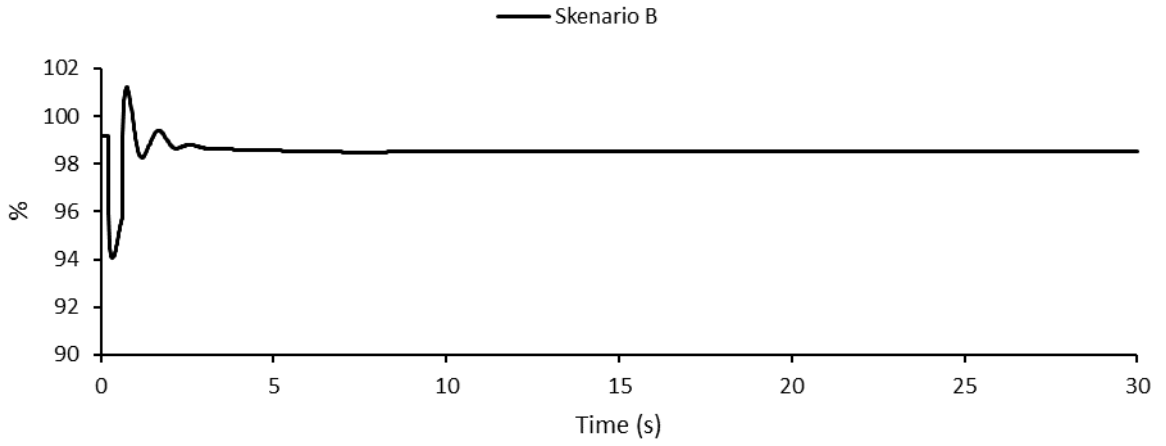
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



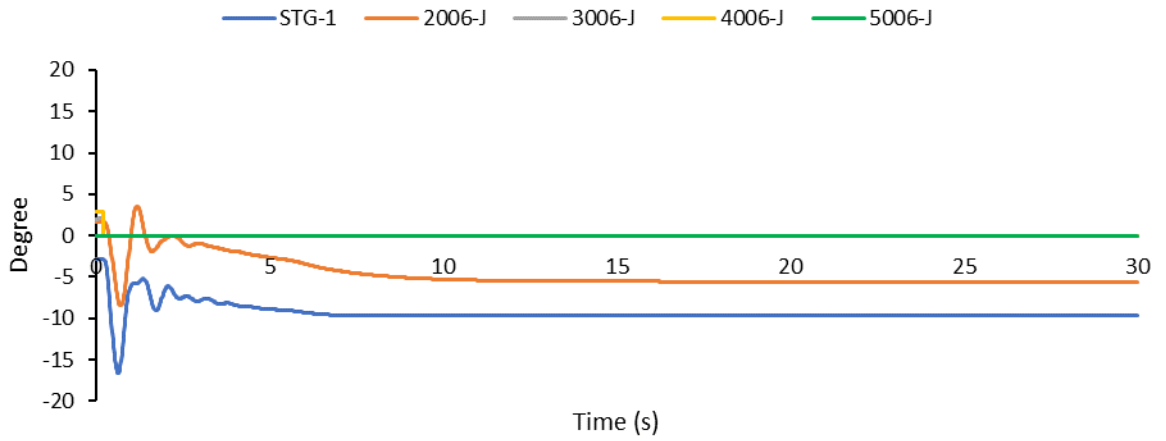
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P3 & P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



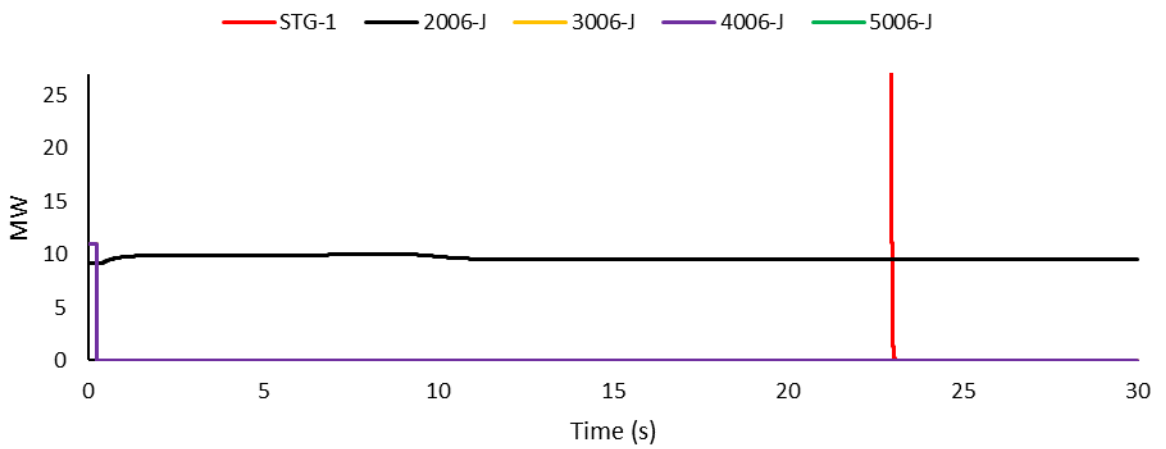
### VOLTAGE



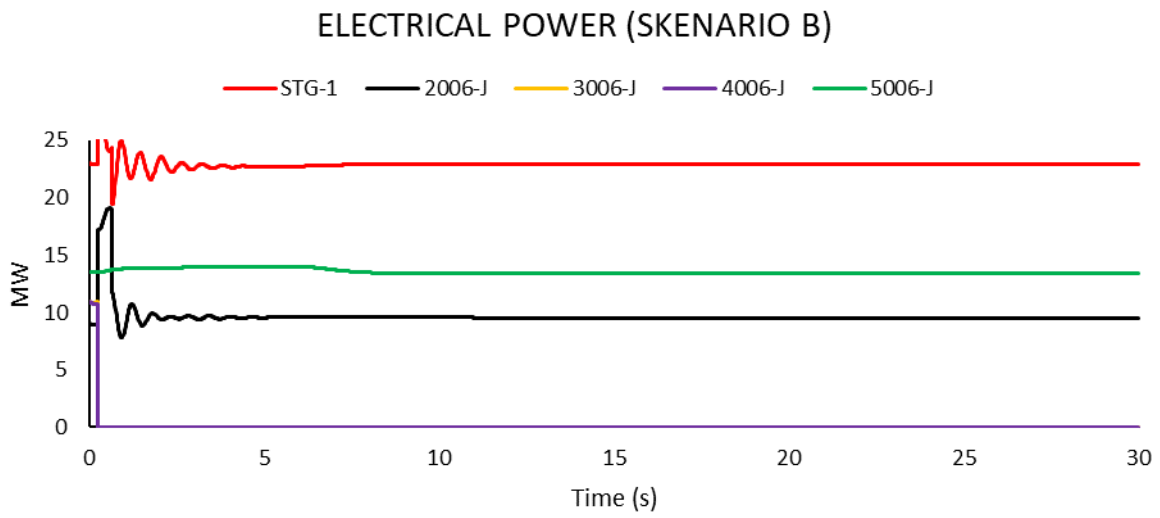
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



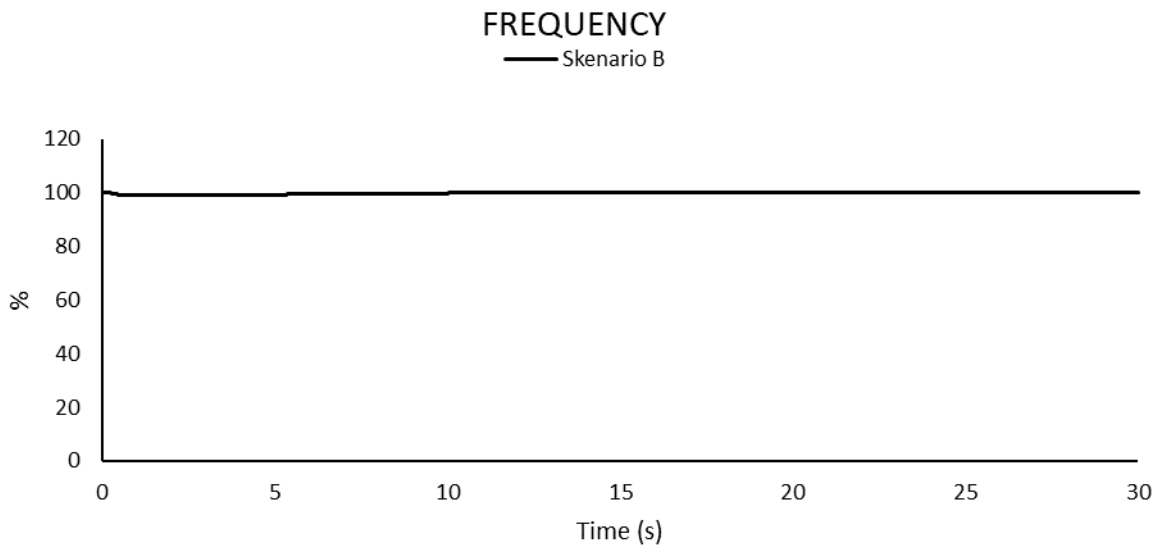
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)

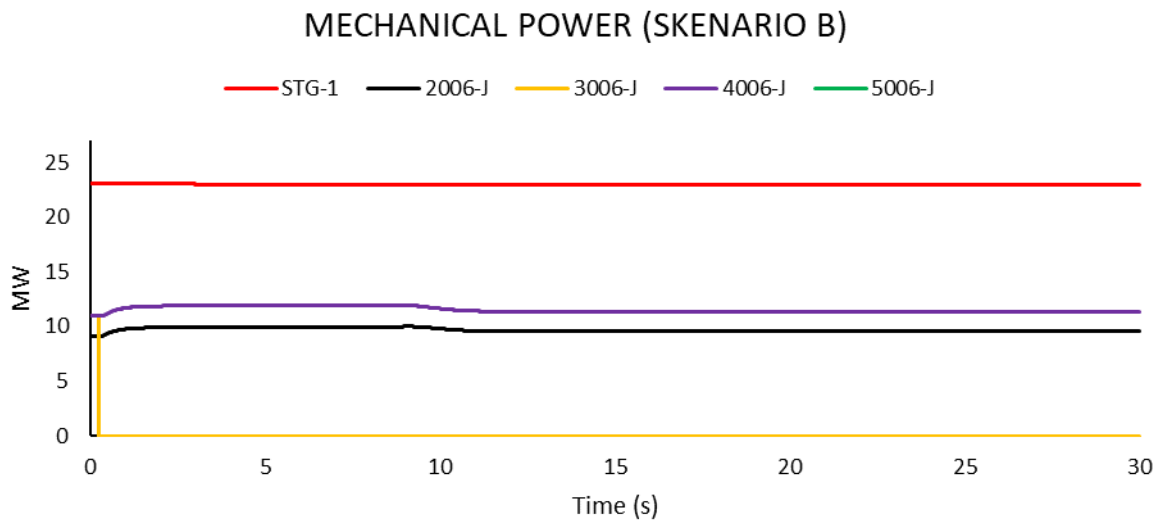
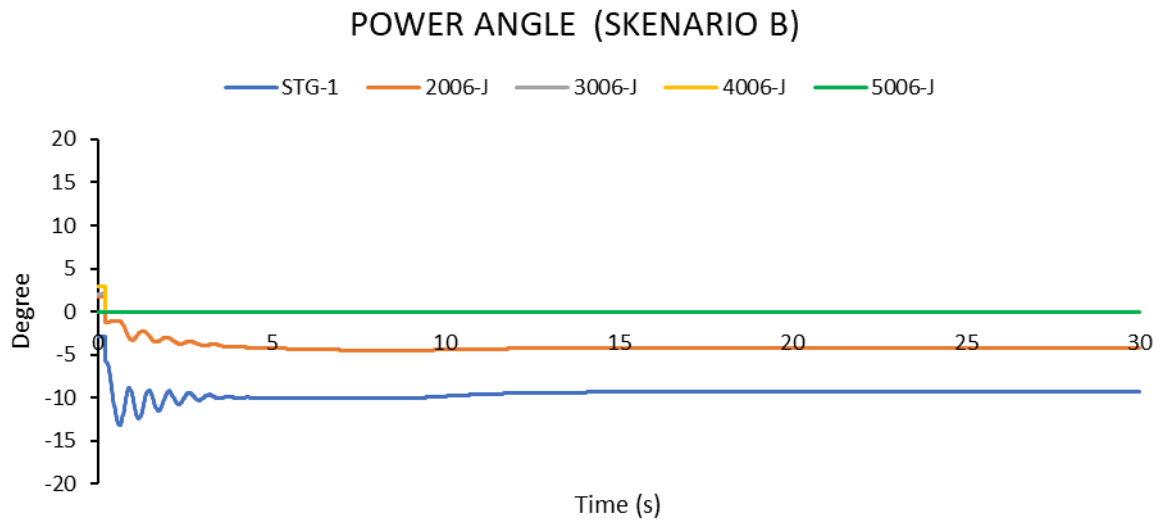
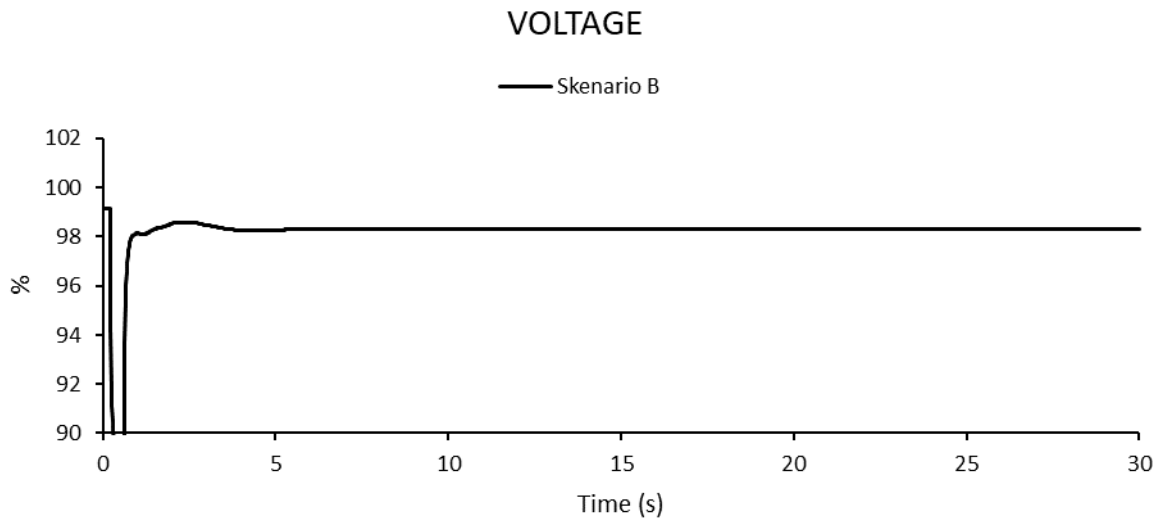


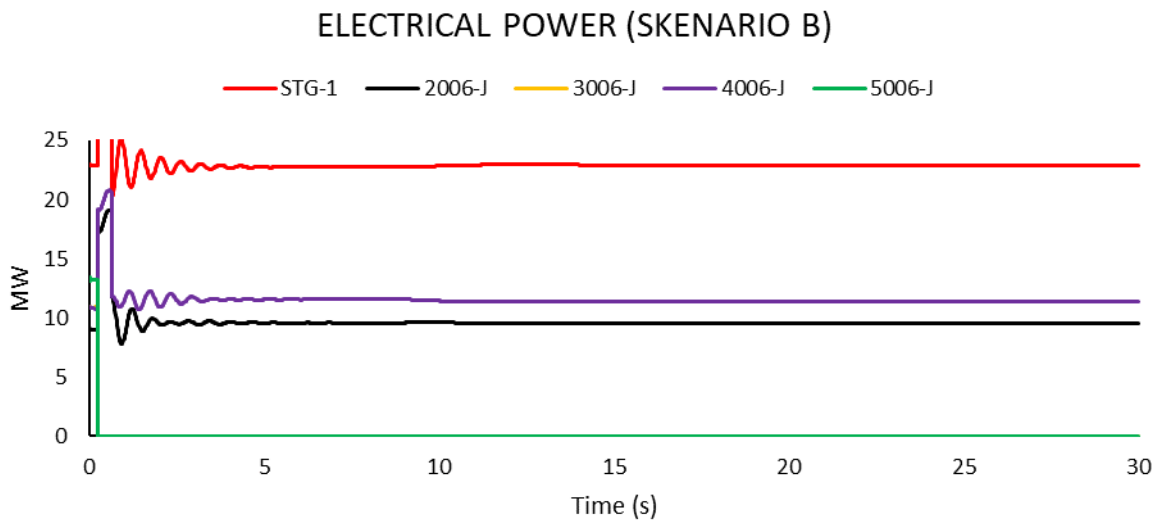




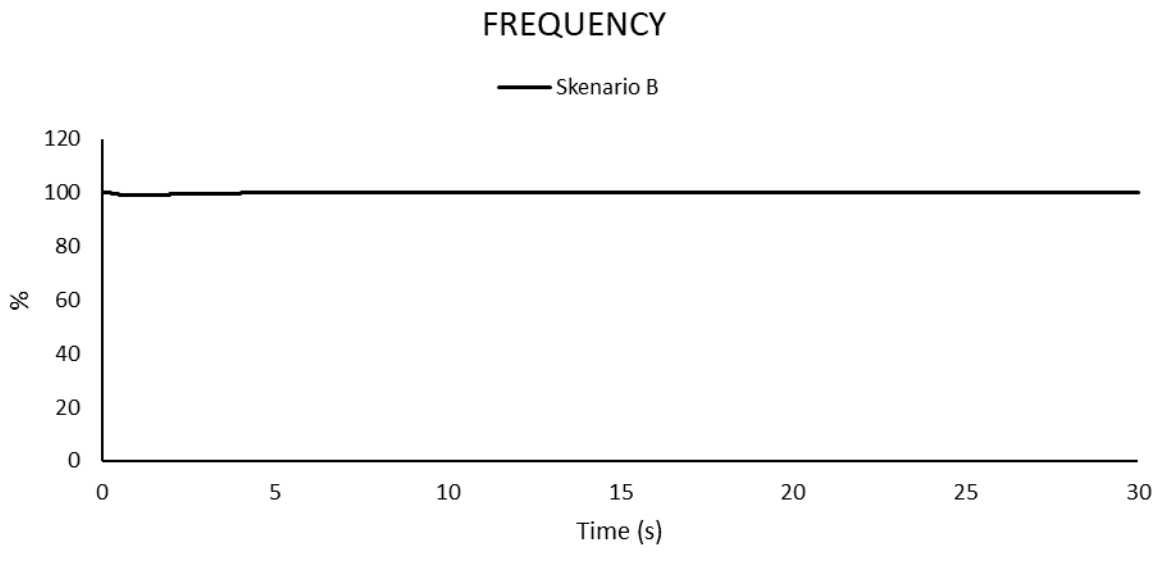
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator P3 & P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*



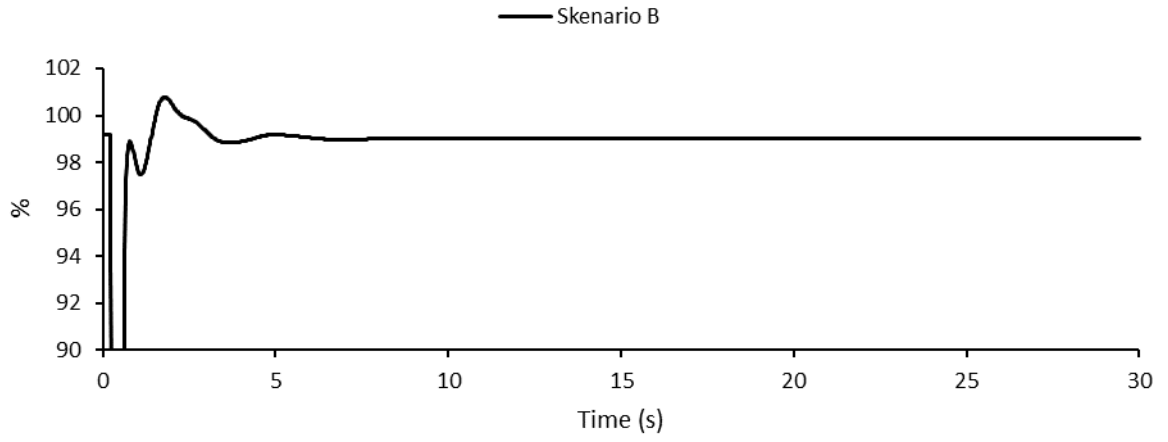




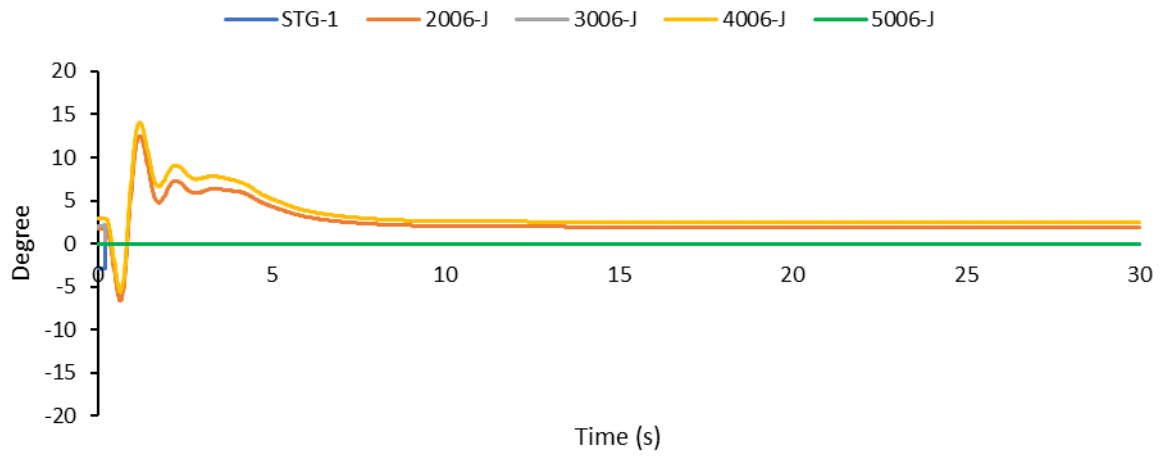
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi Normal, Generator STG & P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



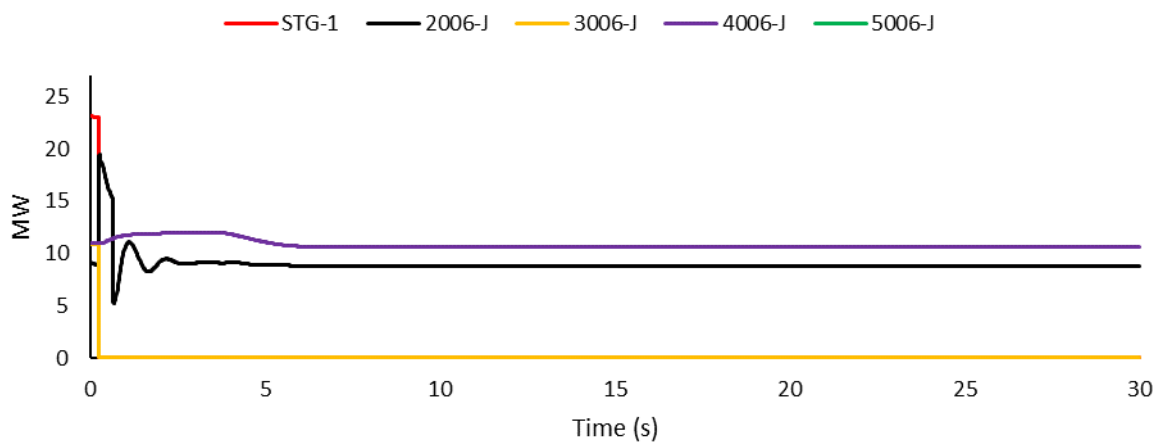
### VOLTAGE



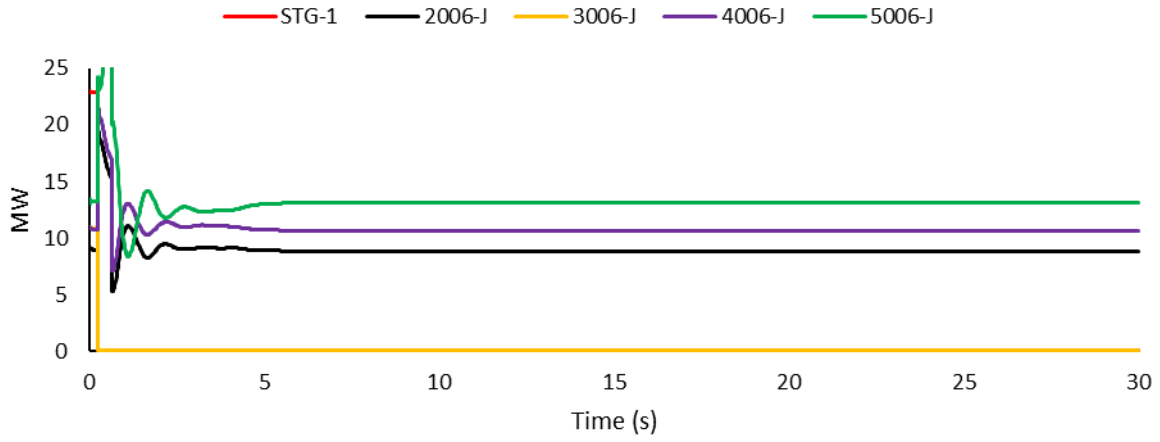
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)

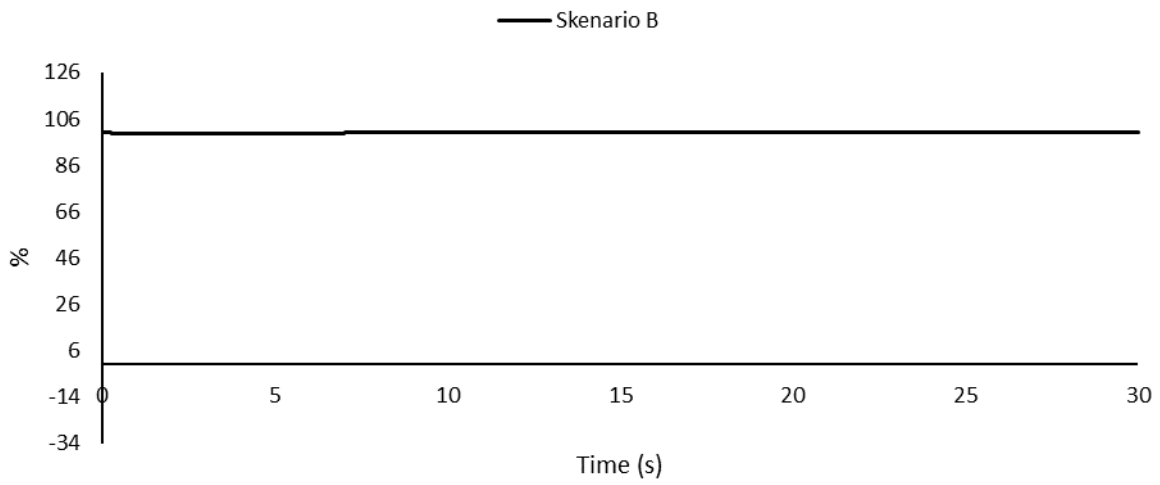


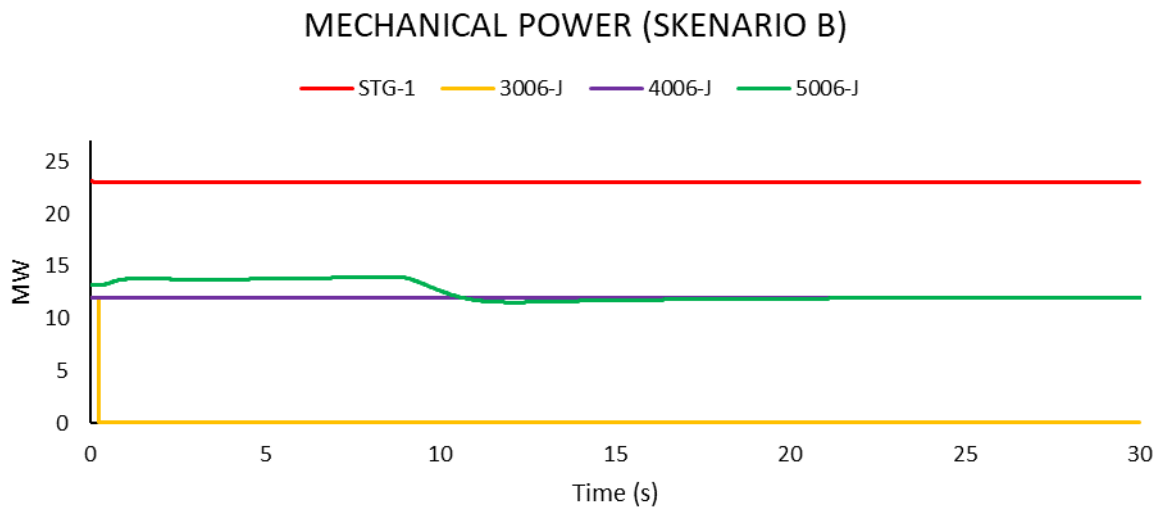
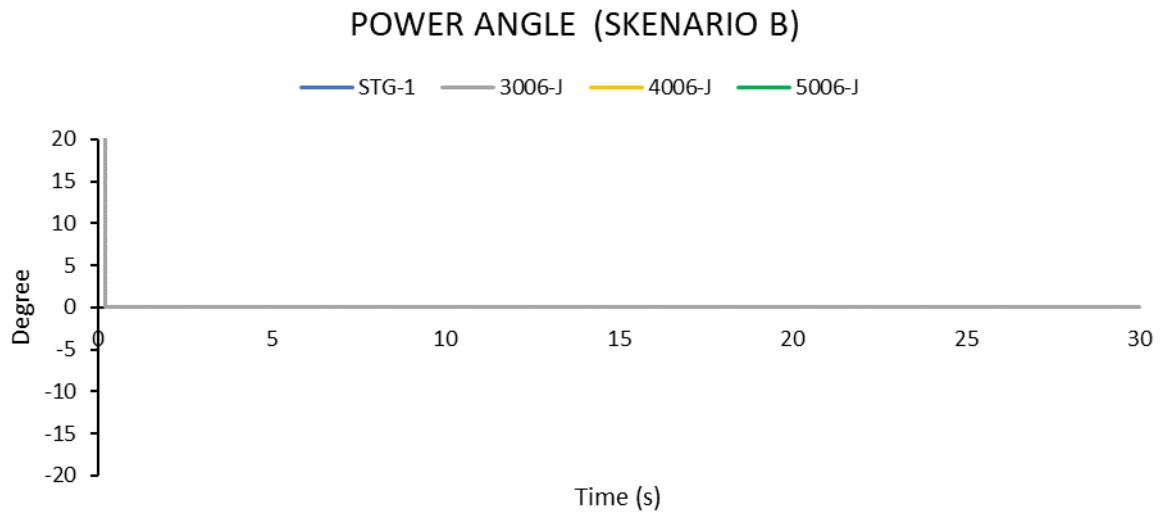
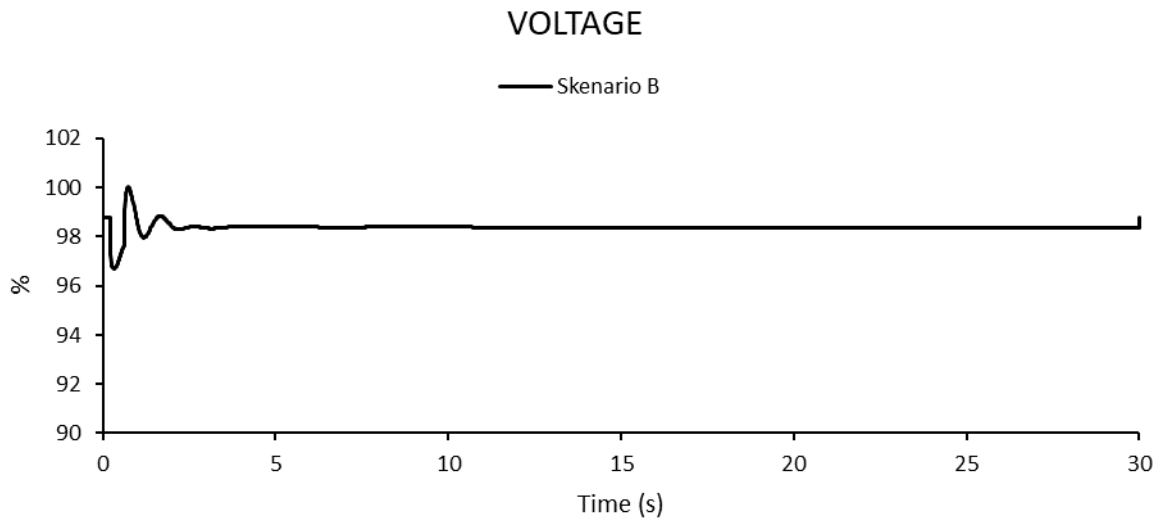
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



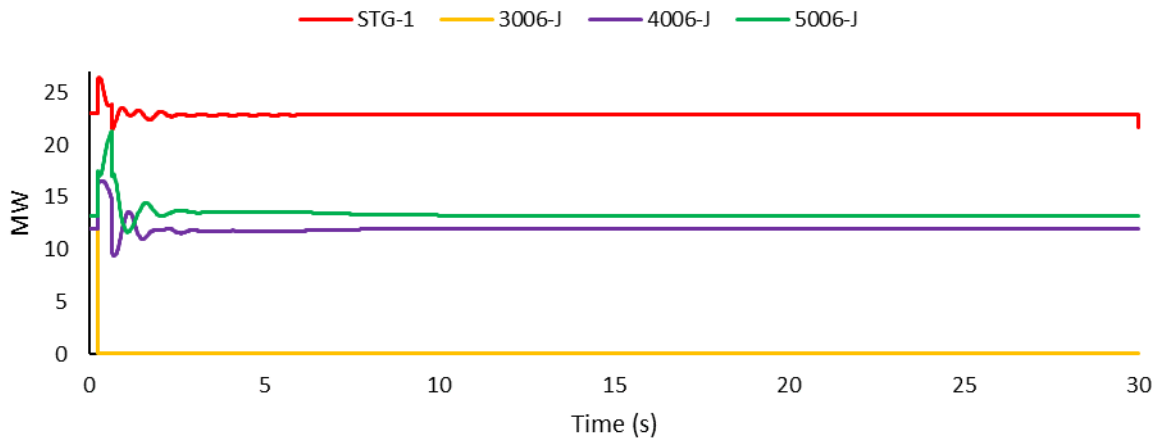
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P2 Off, Generator P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

### FREQUENCY

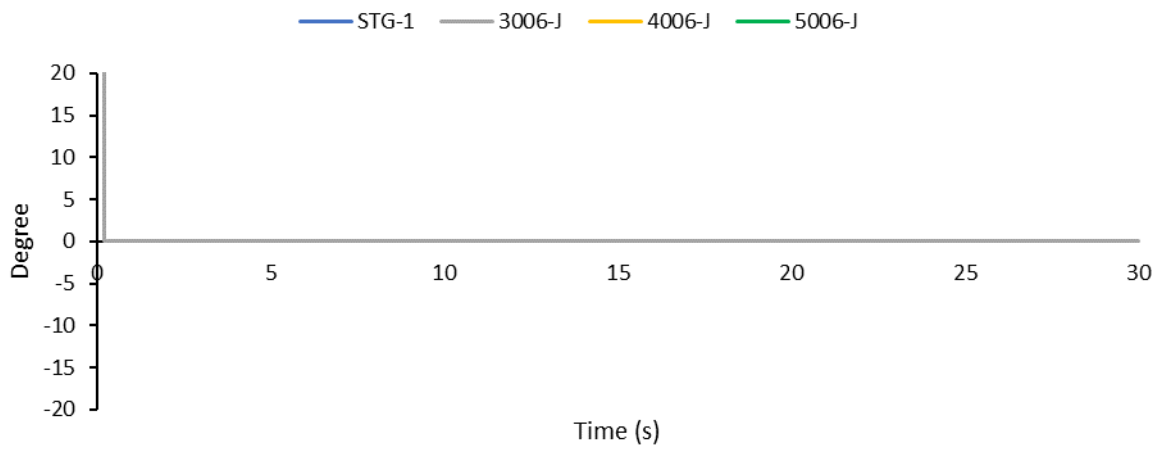




### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)

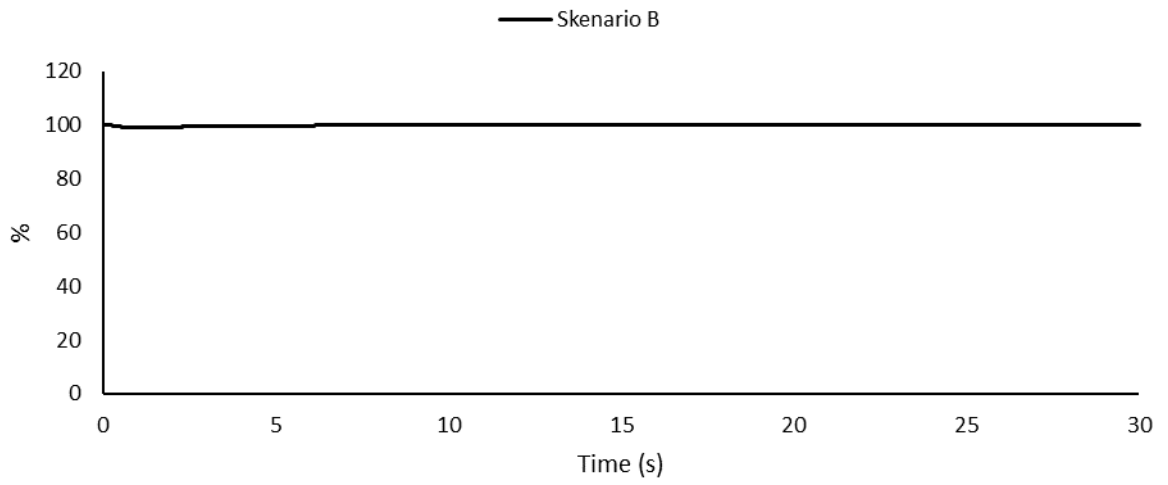


### POWER ANGLE (SKENARIO B)

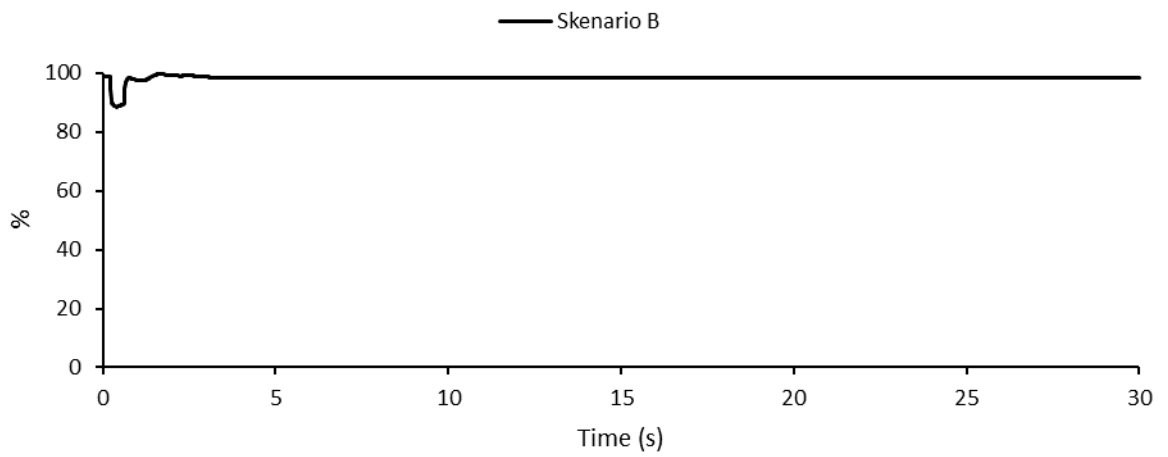


- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P2 Off, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*

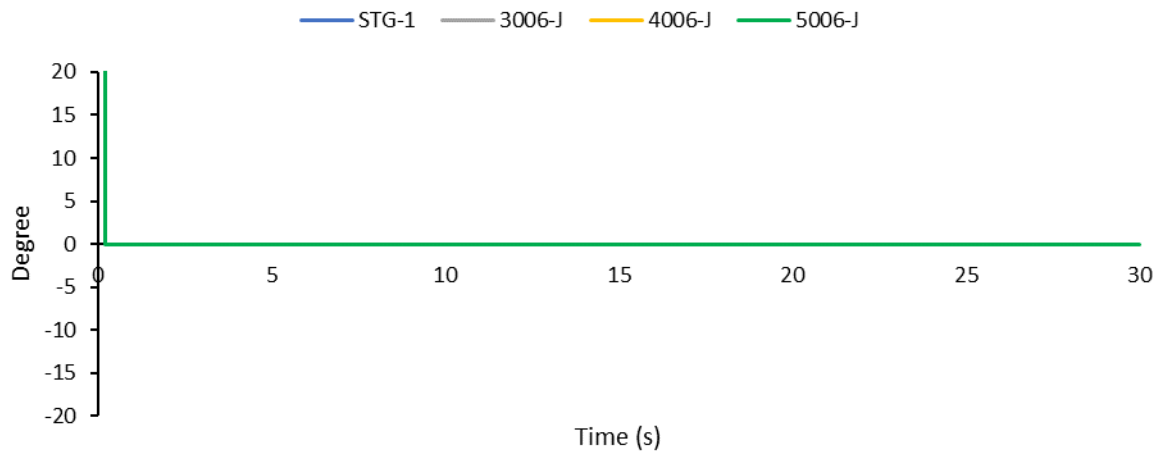
### FREQUENCY



### VOLTAGE

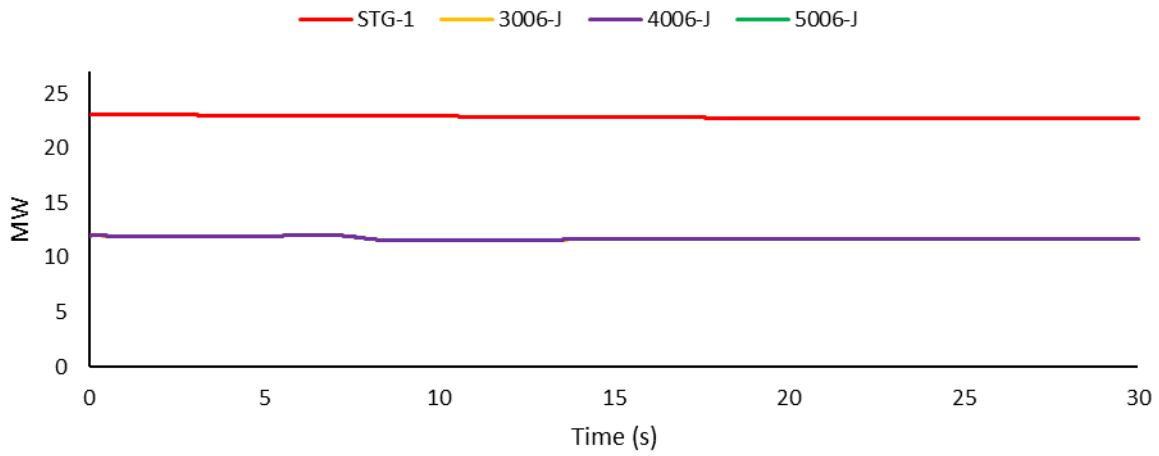


### POWER ANGLE (SKENARIO B)

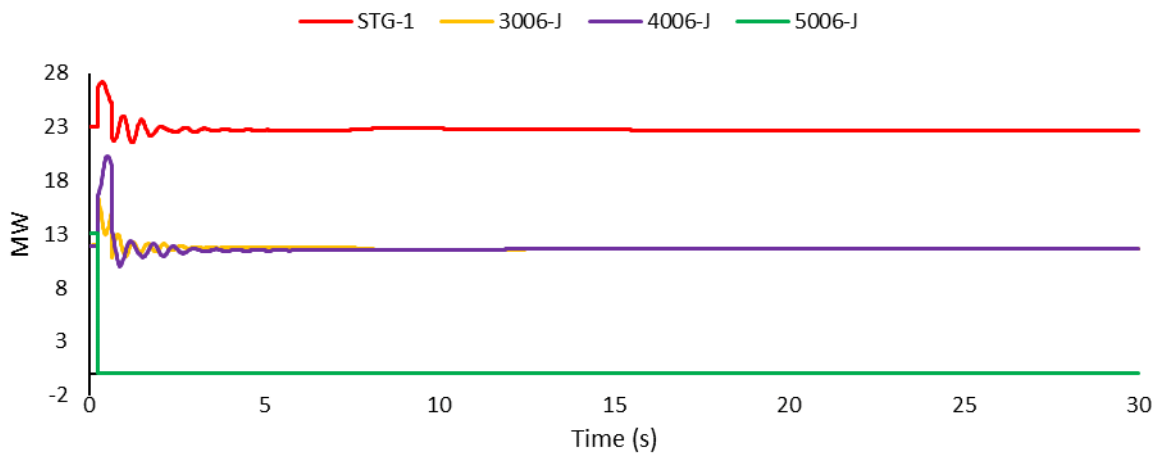




### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)

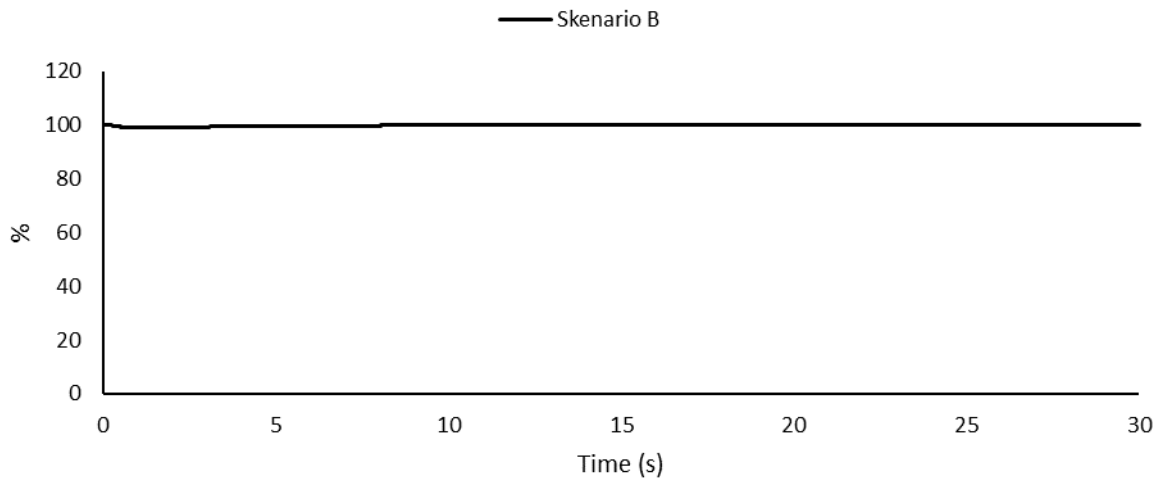


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)

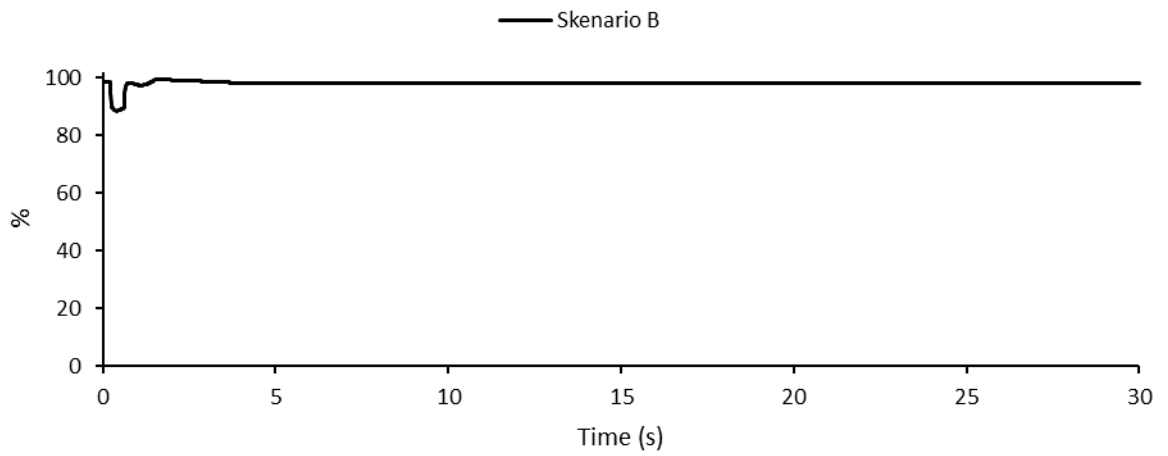


- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P2 Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*

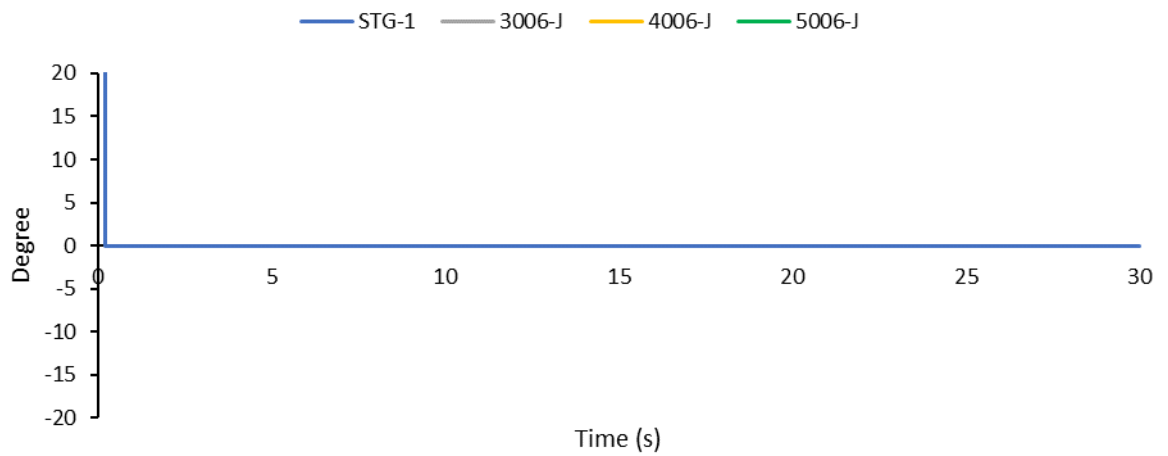
### FREQUENCY



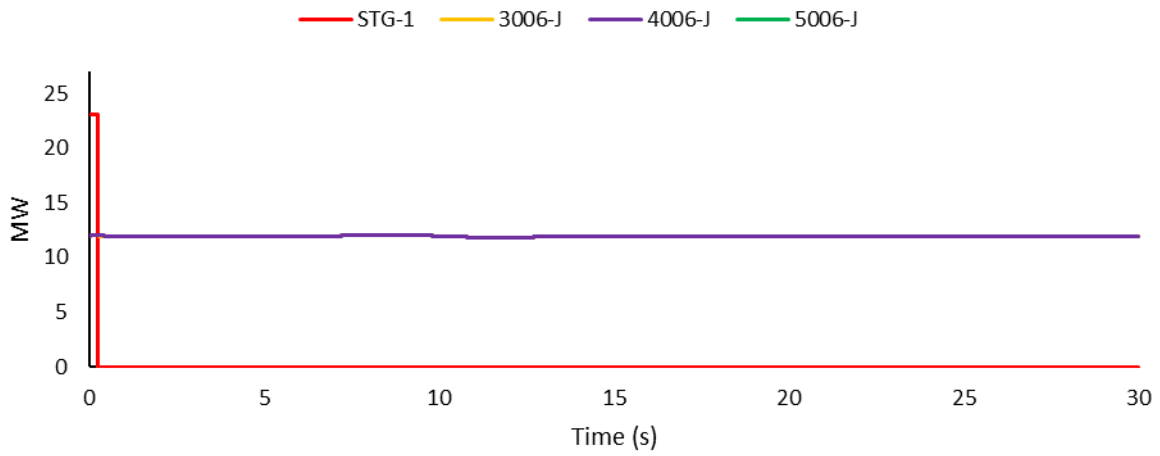
### VOLTAGE



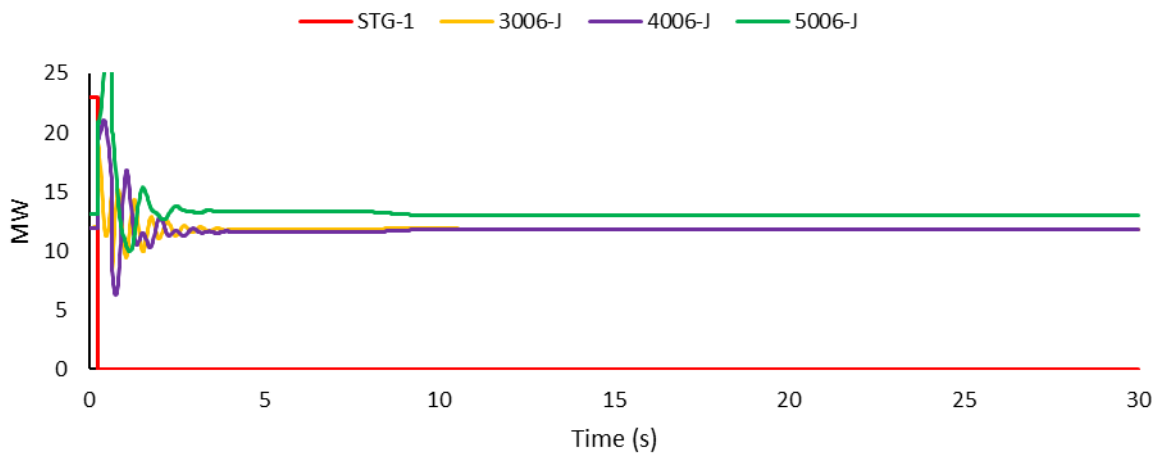
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)

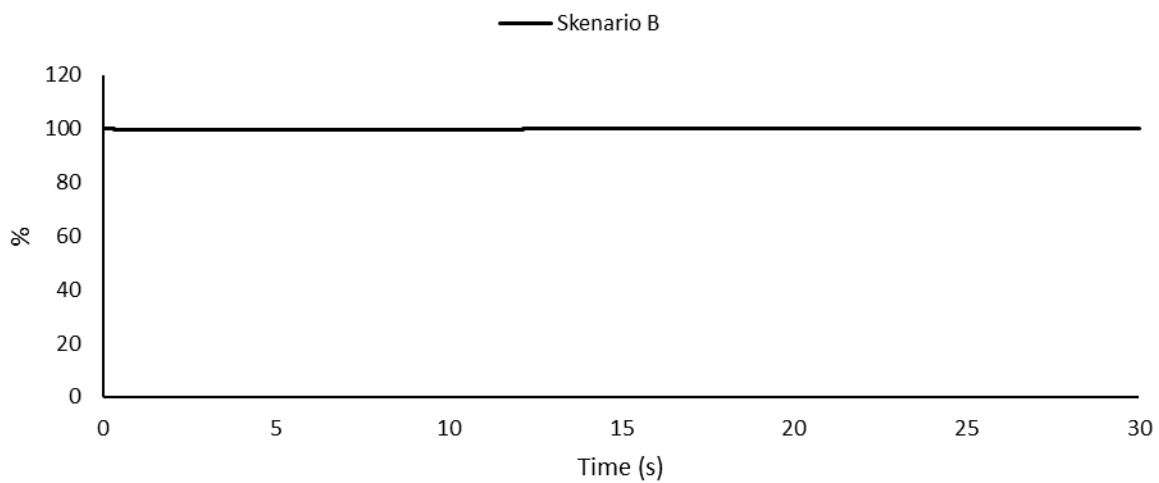


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)

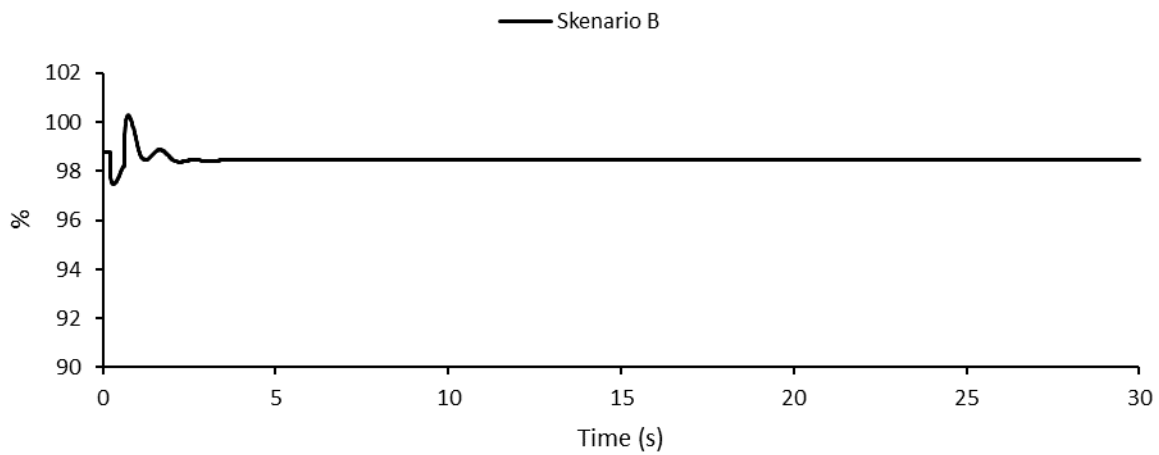


- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P3 Off, Generator P2 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

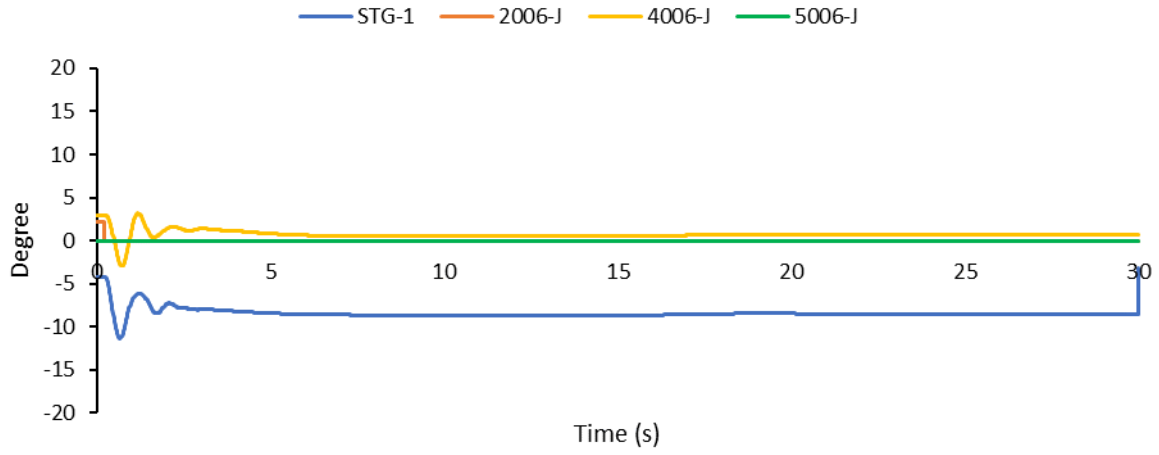
### FREQUENCY



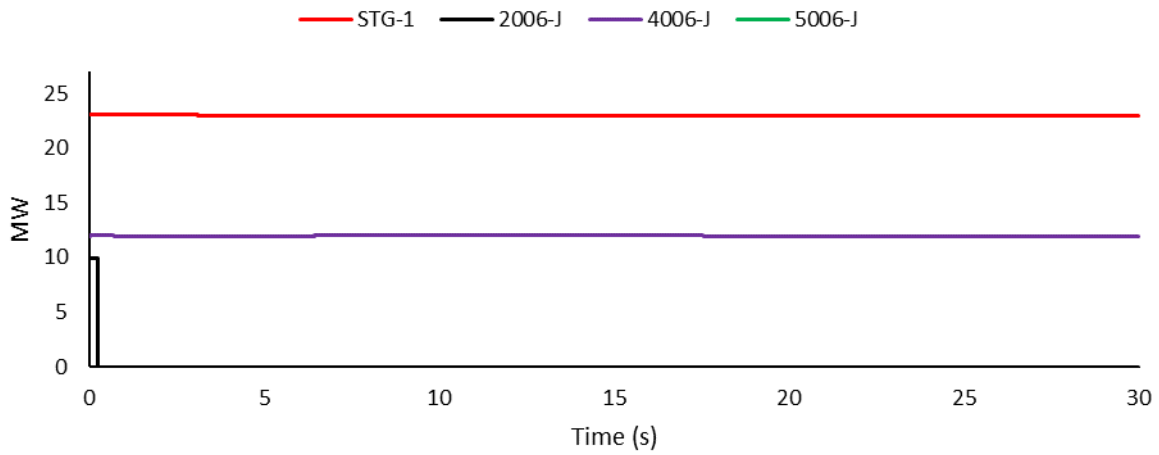
### VOLTAGE



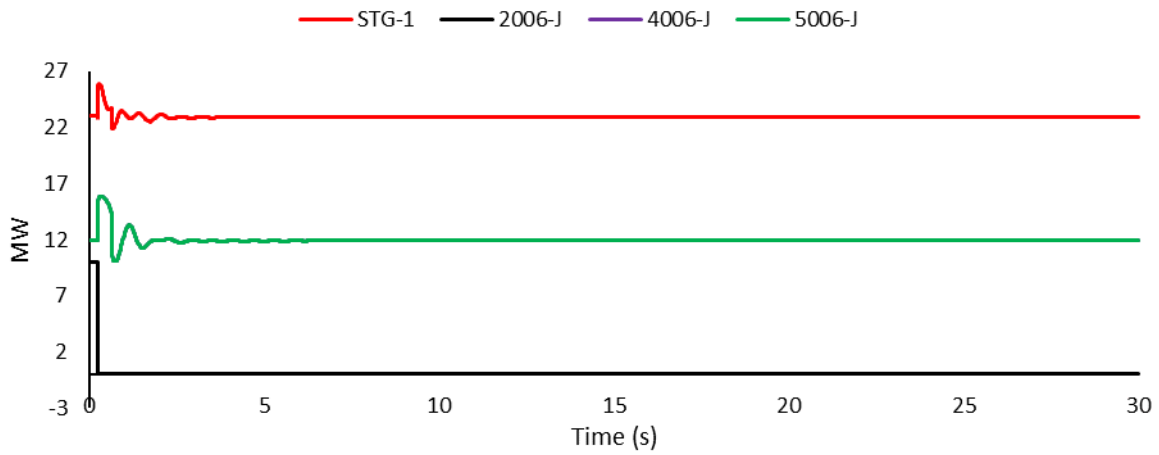
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



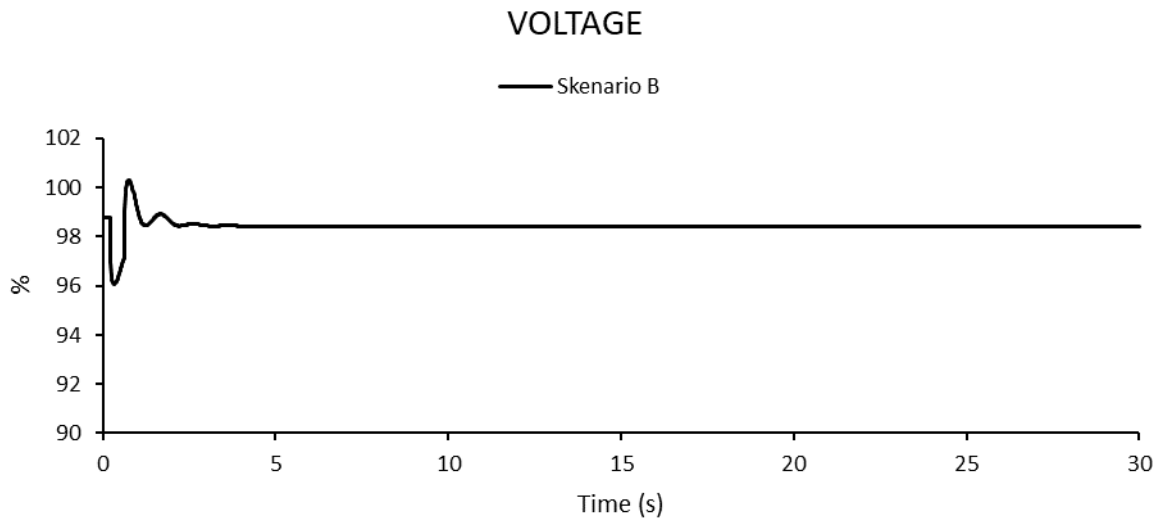
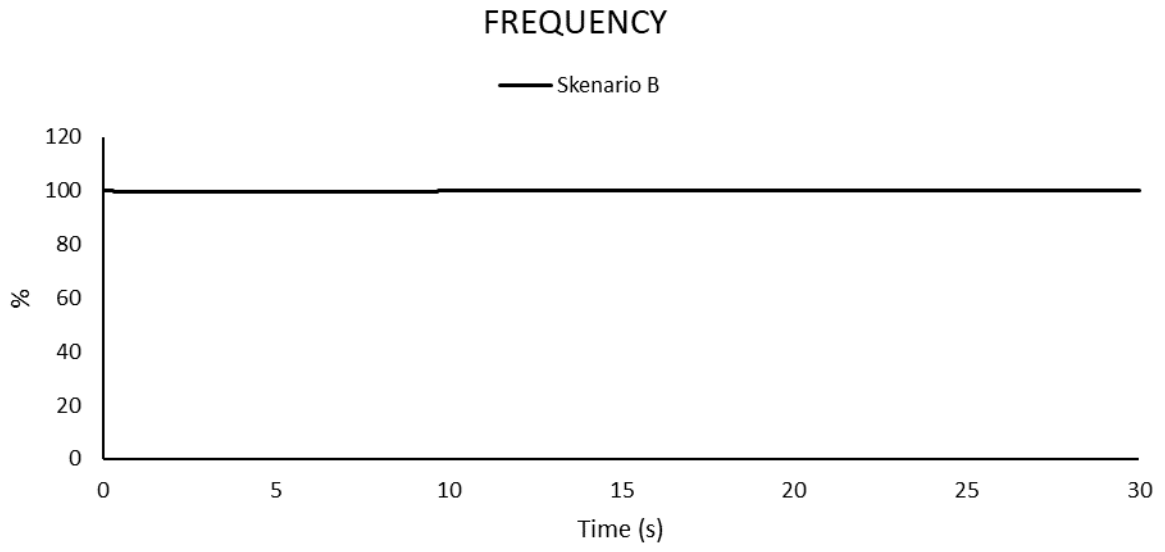
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



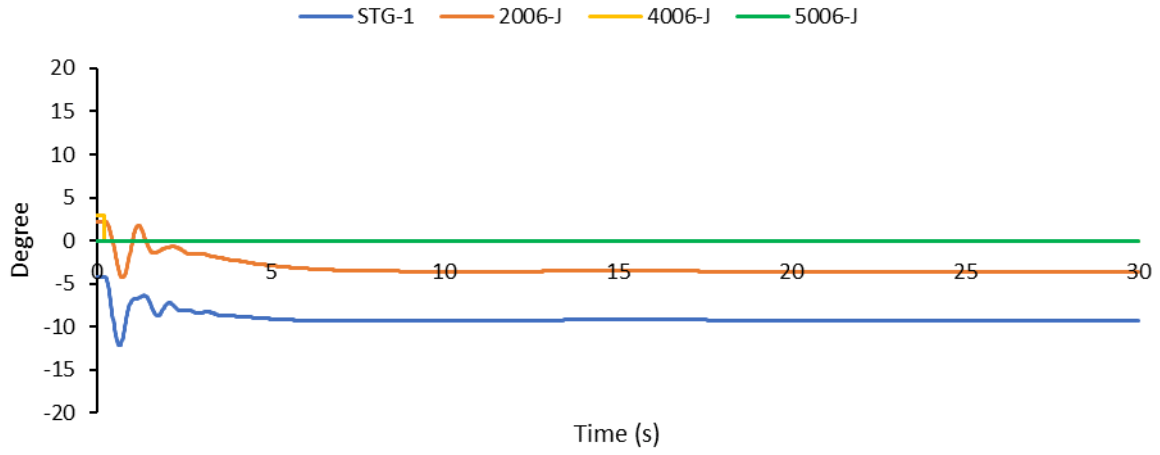
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



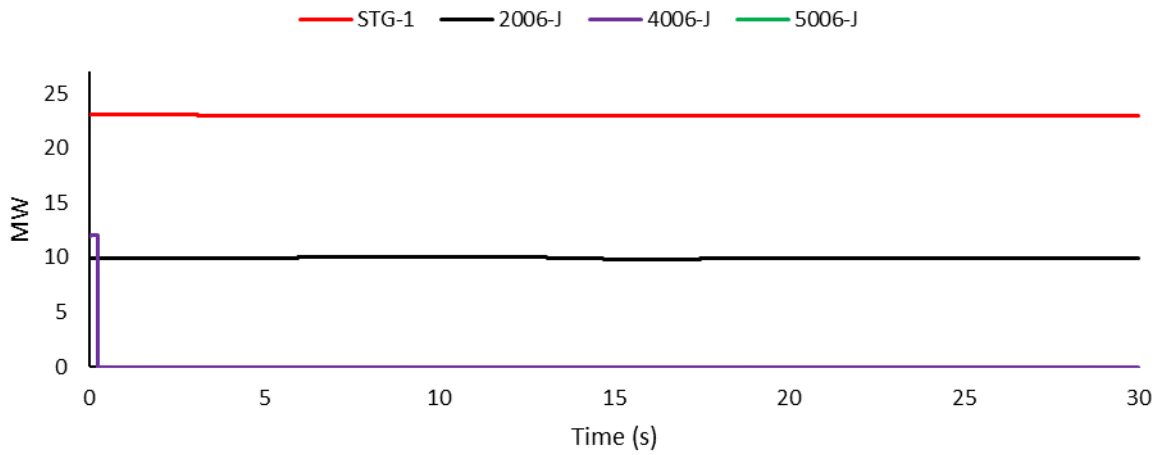
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P3 Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



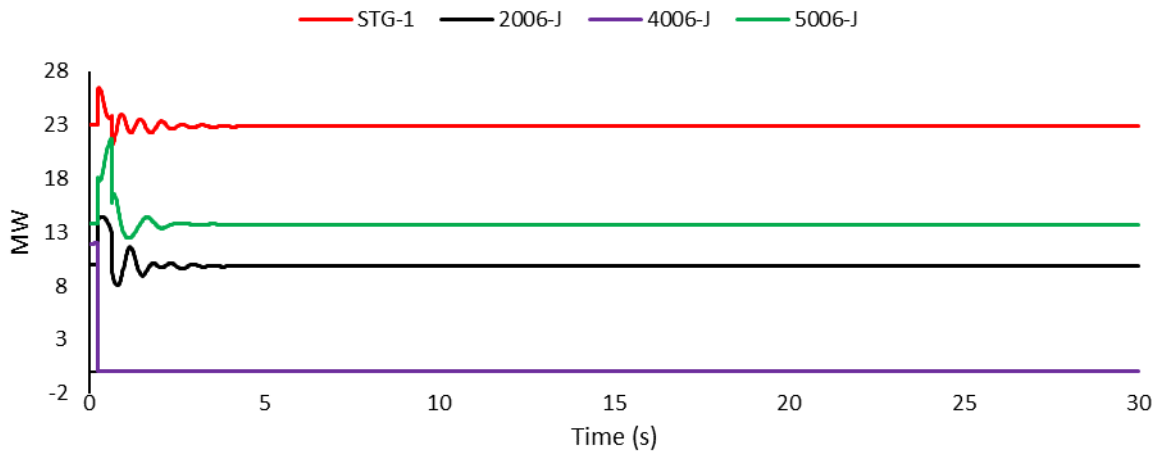
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



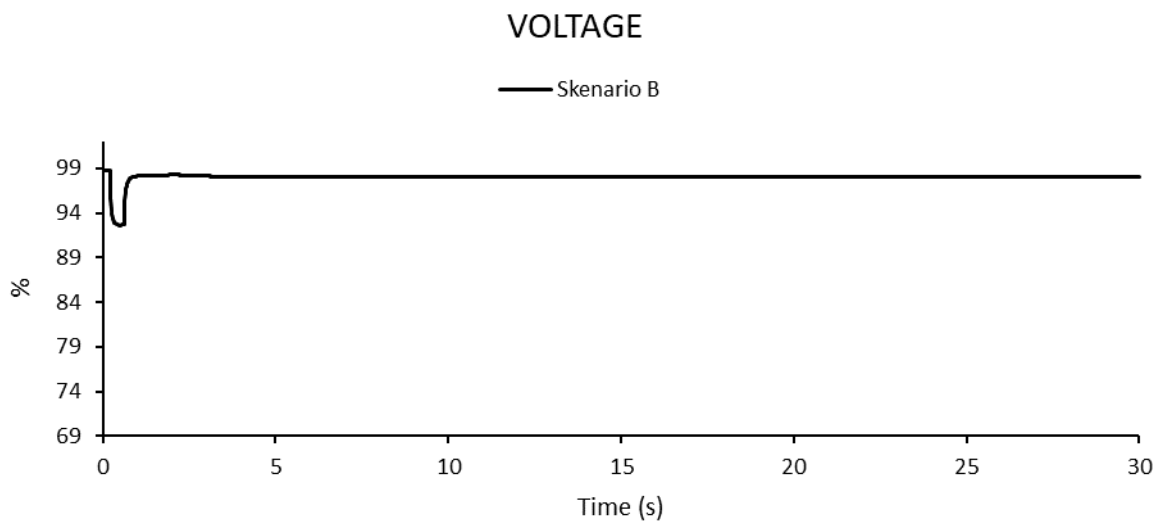
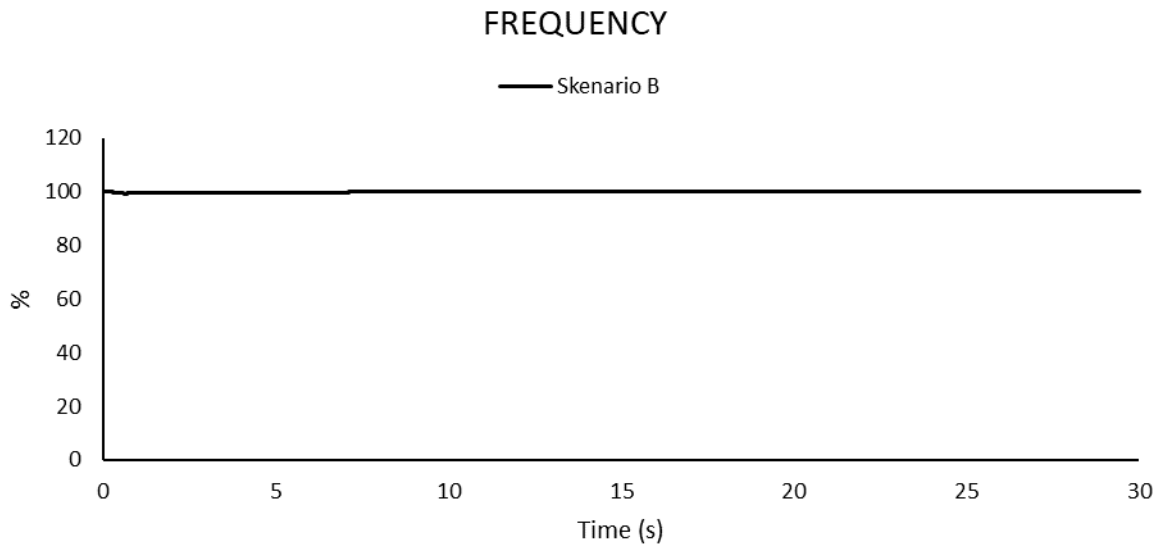
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)

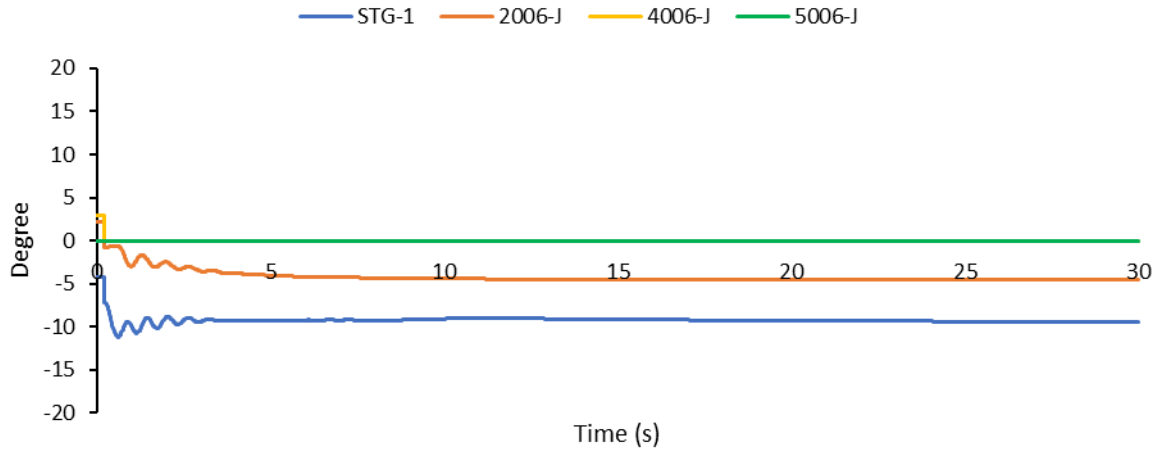


- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P3 Off, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*

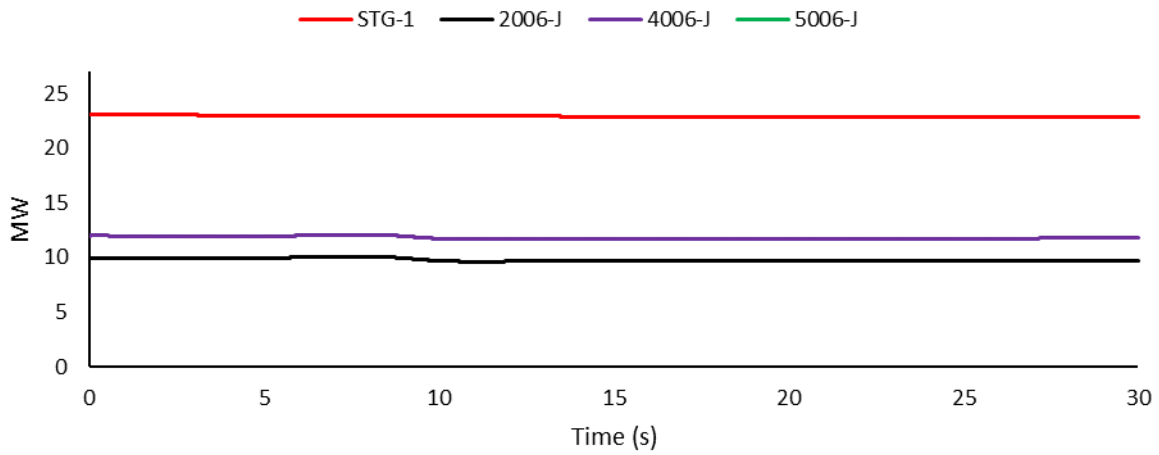




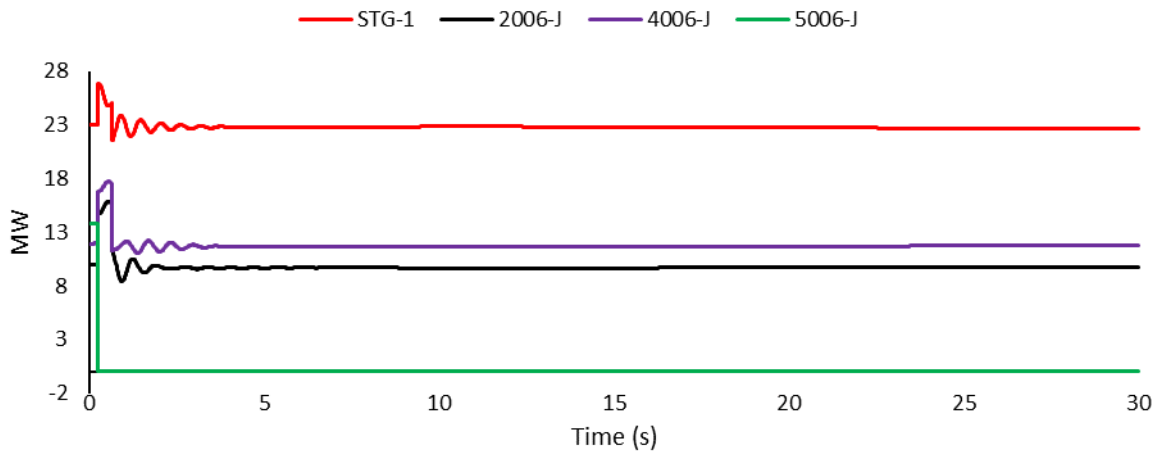
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



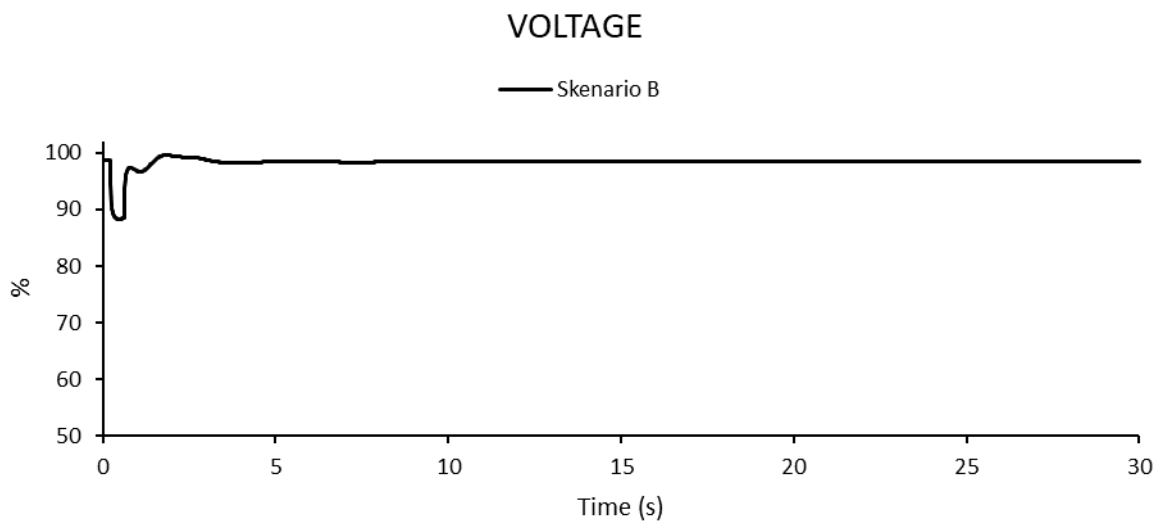
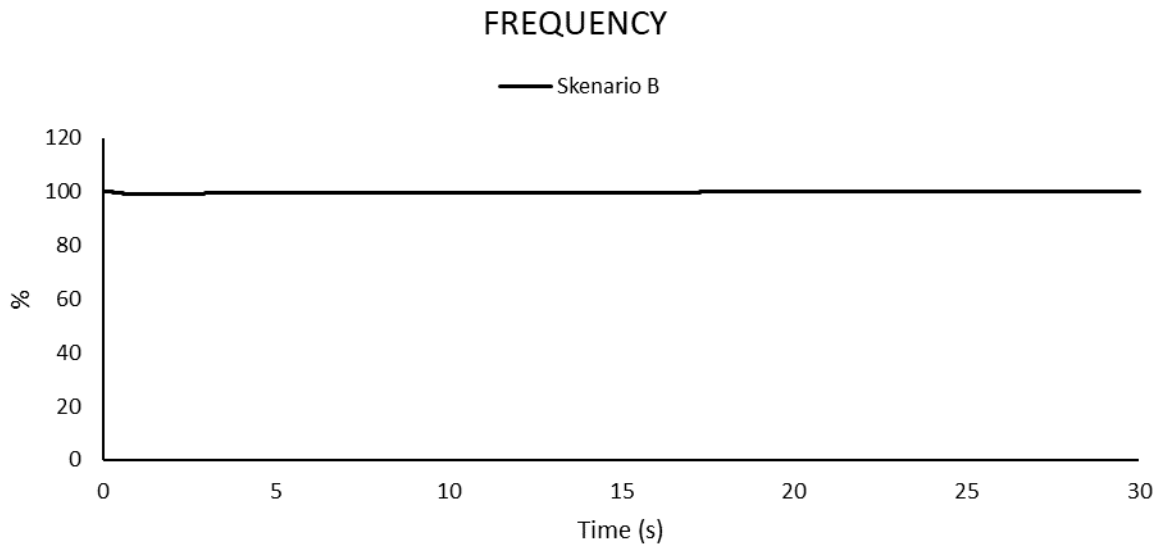
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



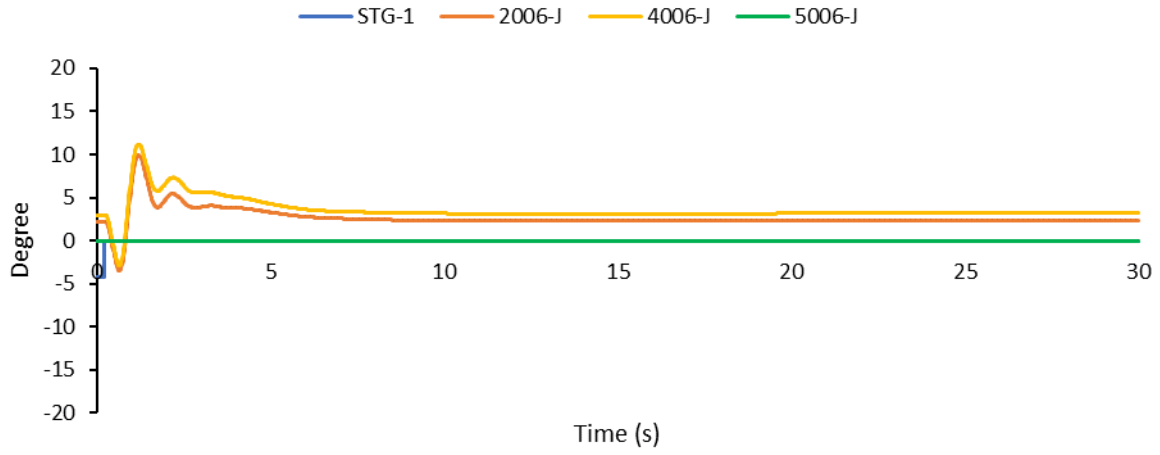
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



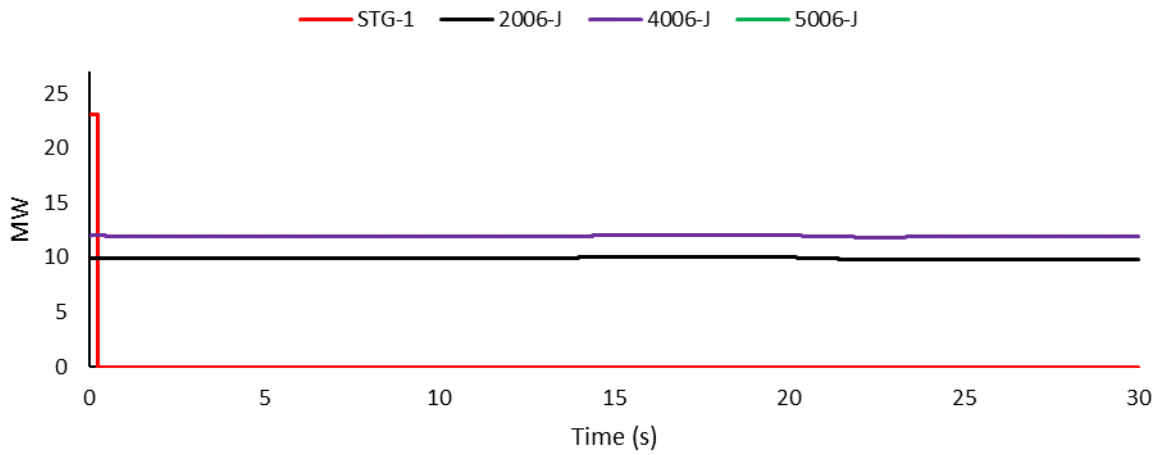
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P3 Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*



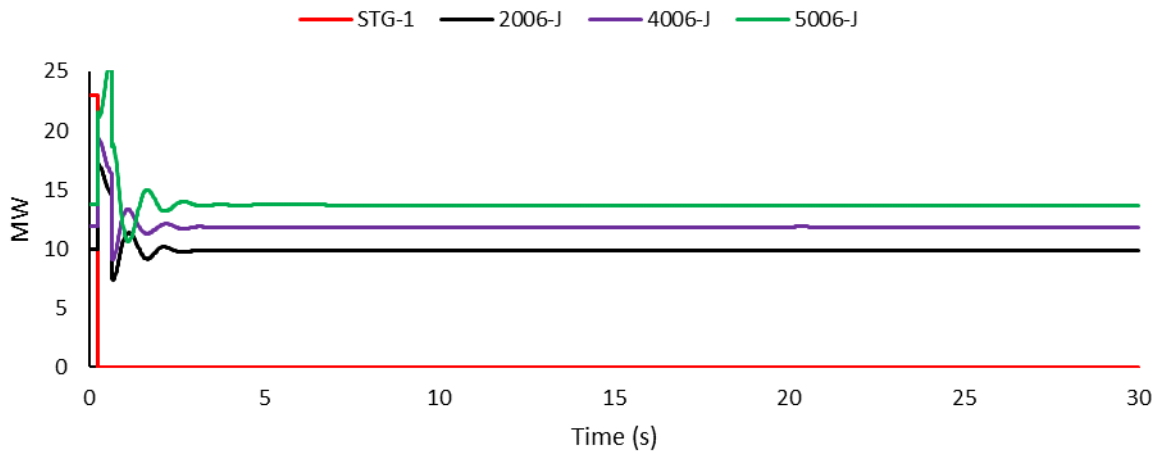
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



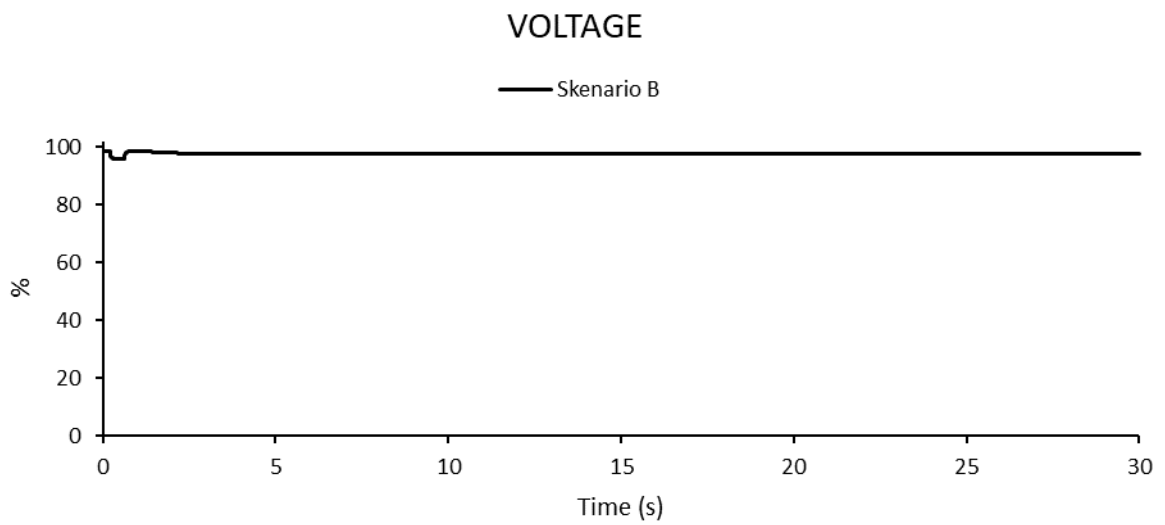
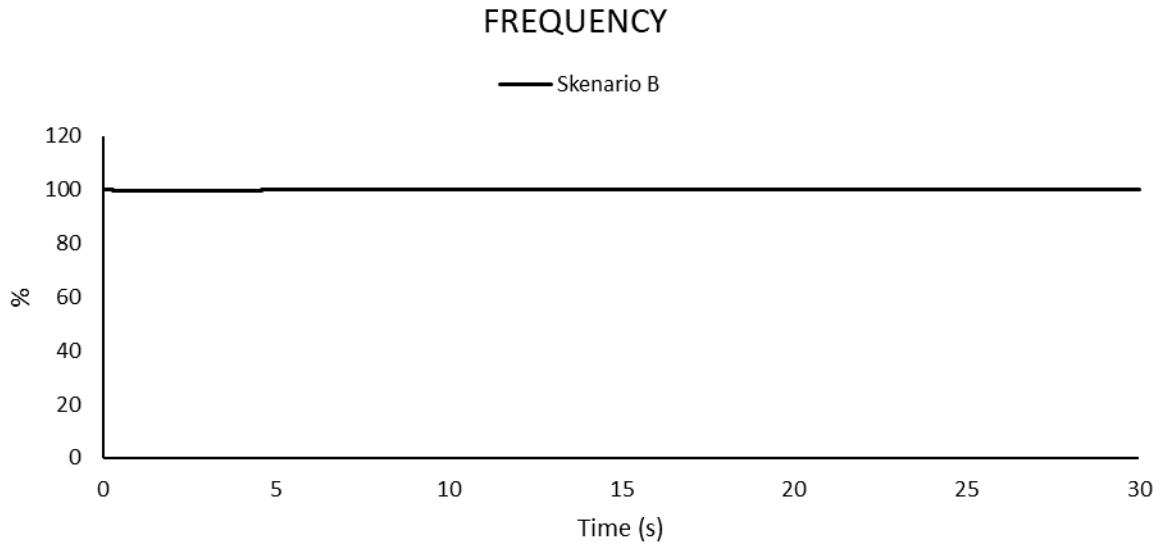
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



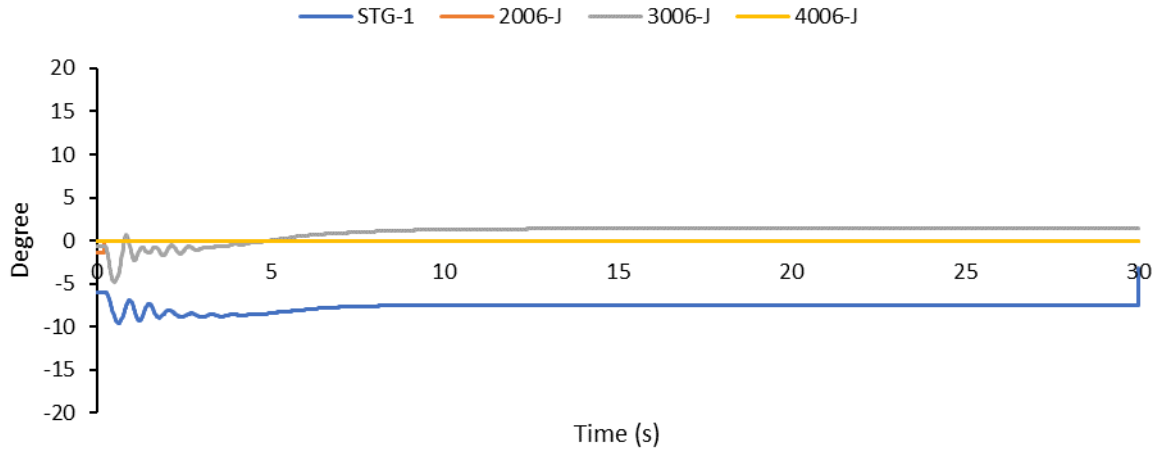
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



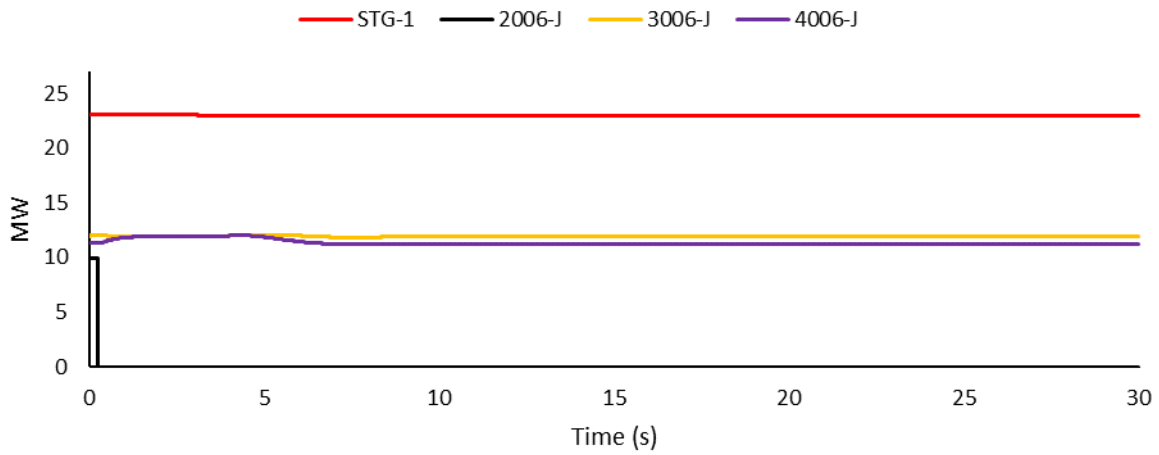
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi P1B Off, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



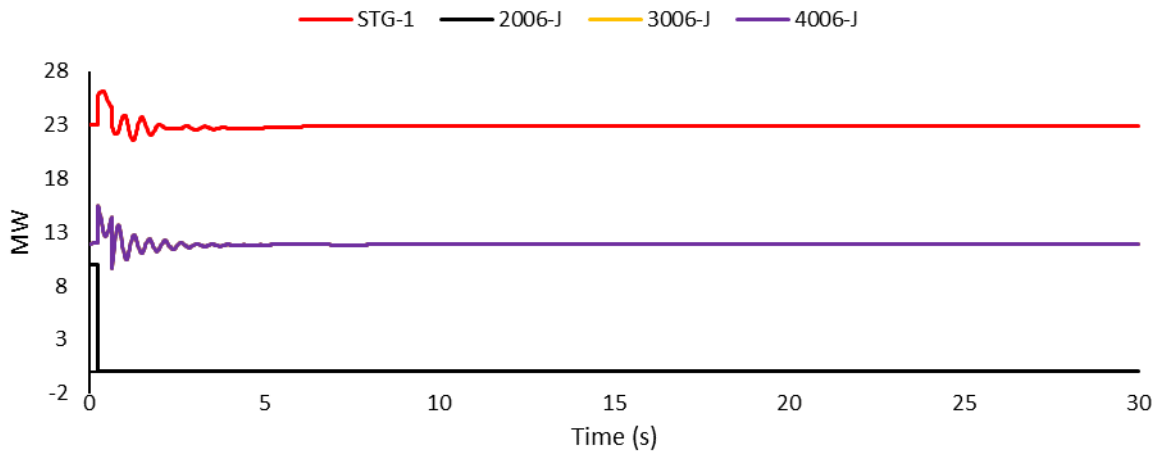
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



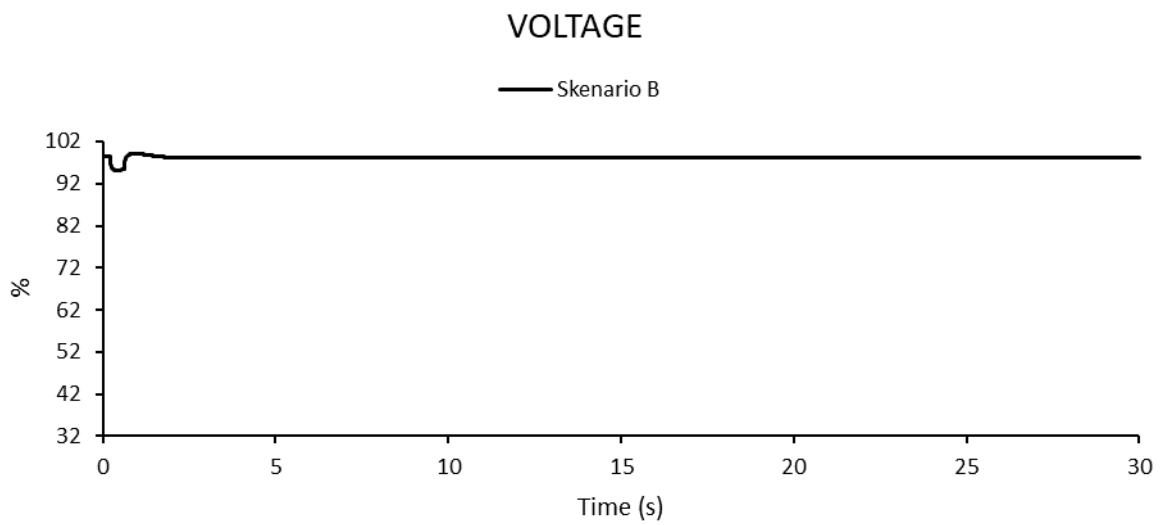
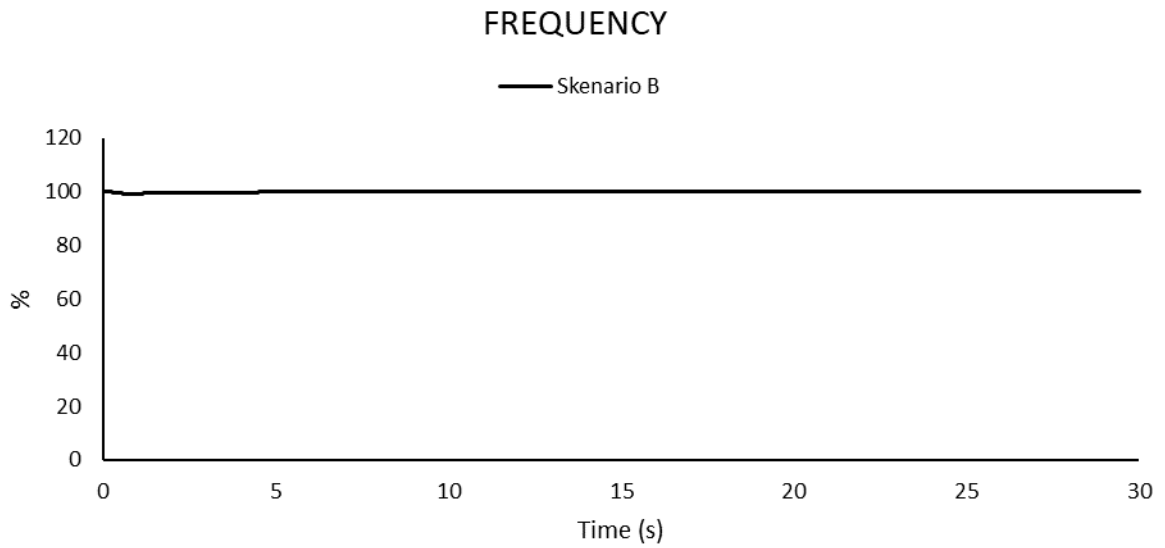
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



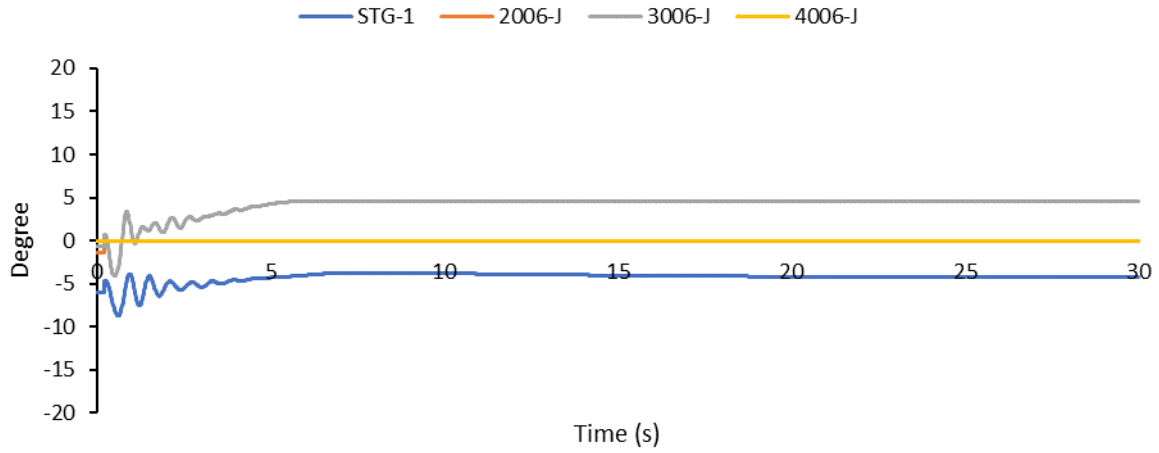
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



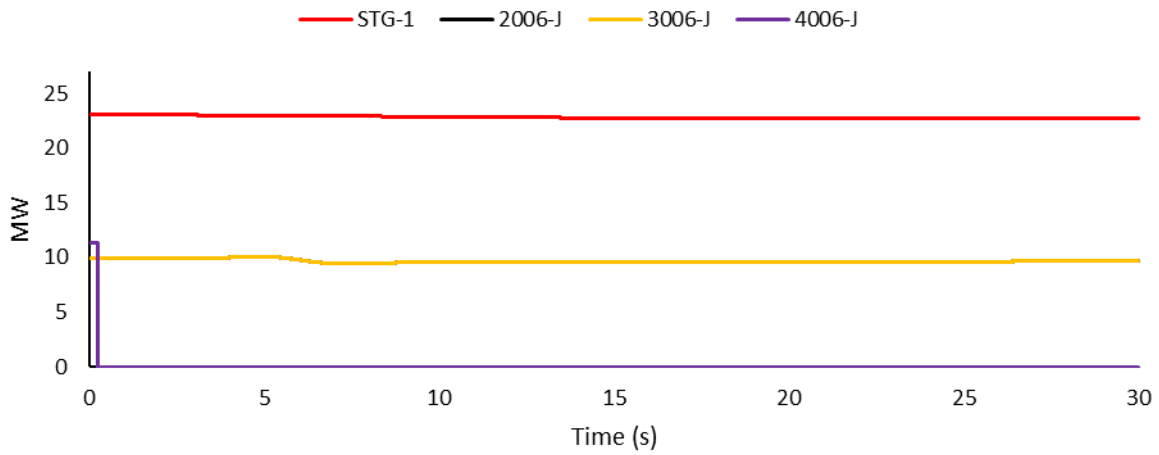
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi PIB Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



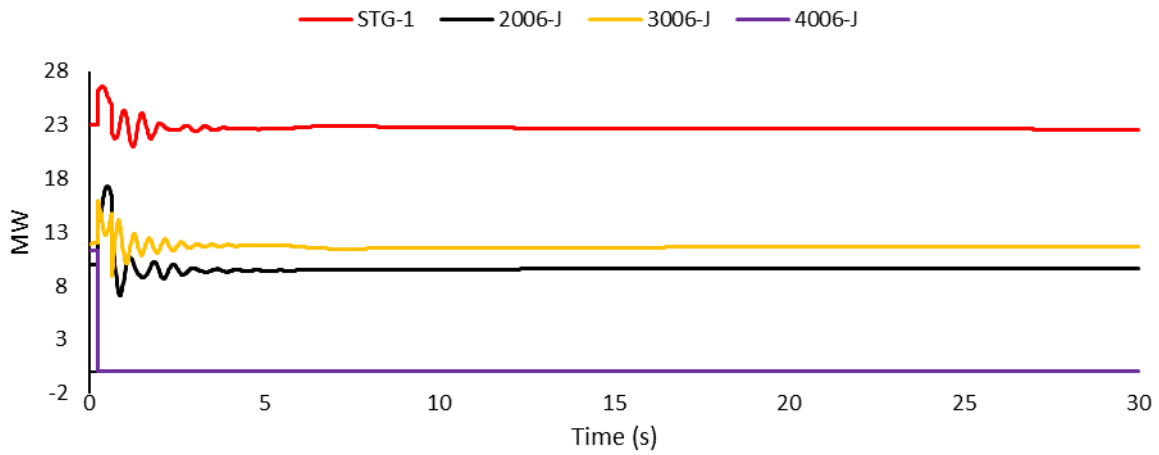
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



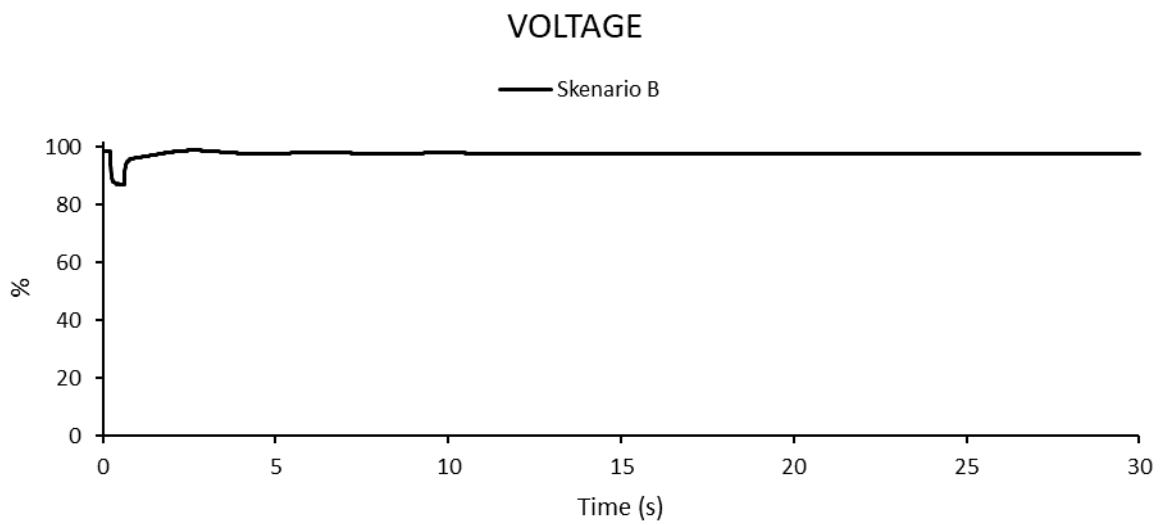
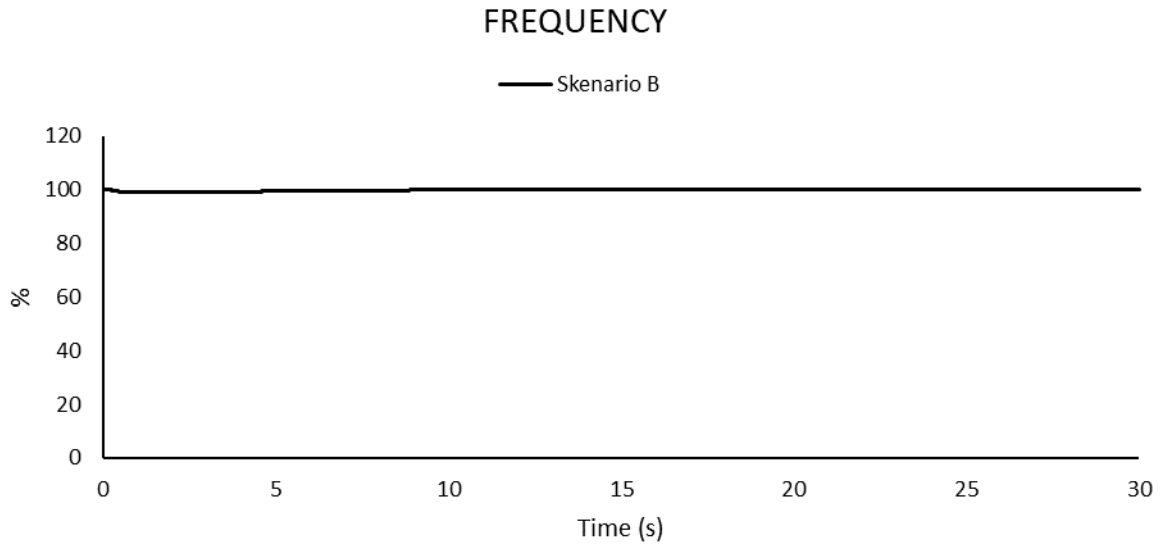
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)

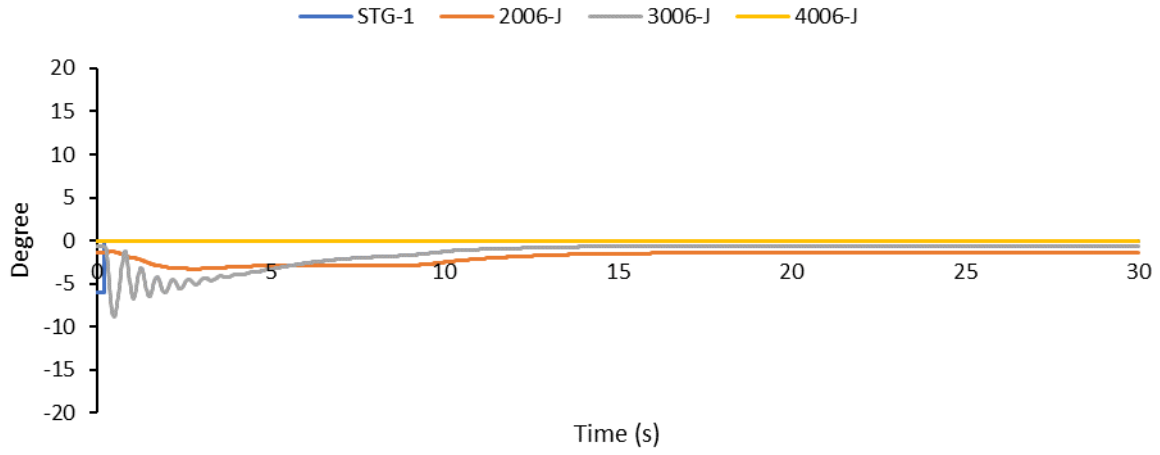


- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi PIB Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*

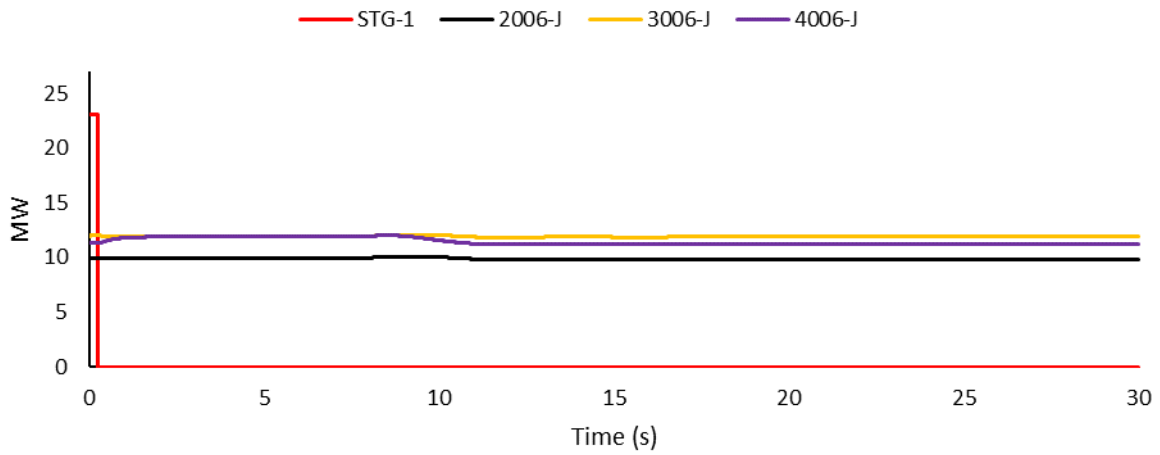




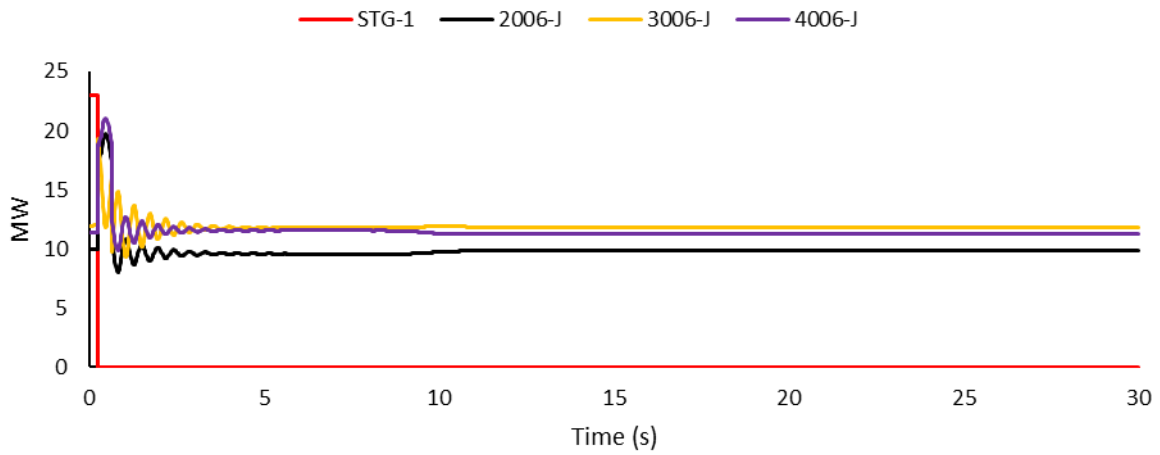
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



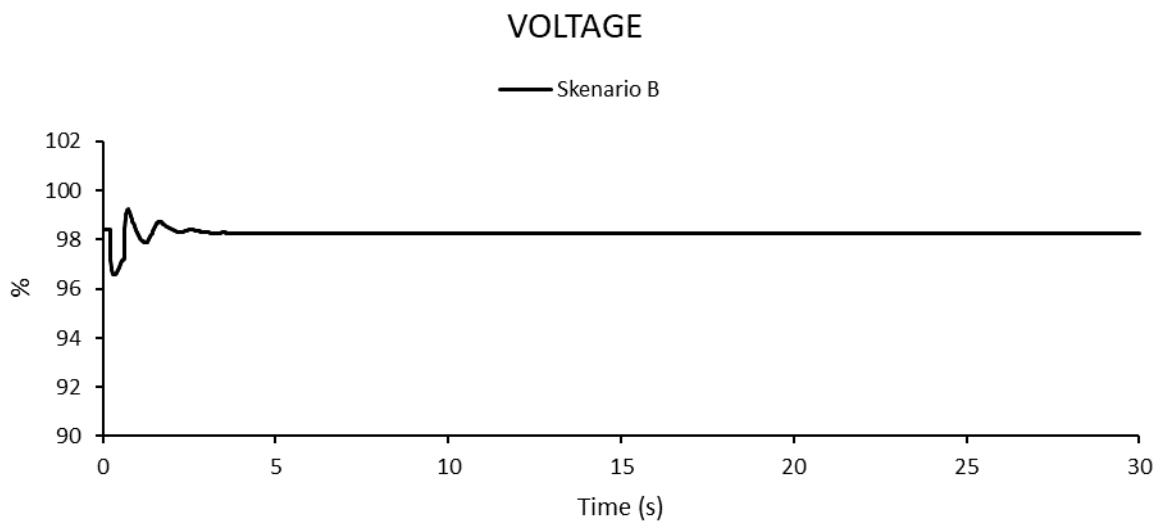
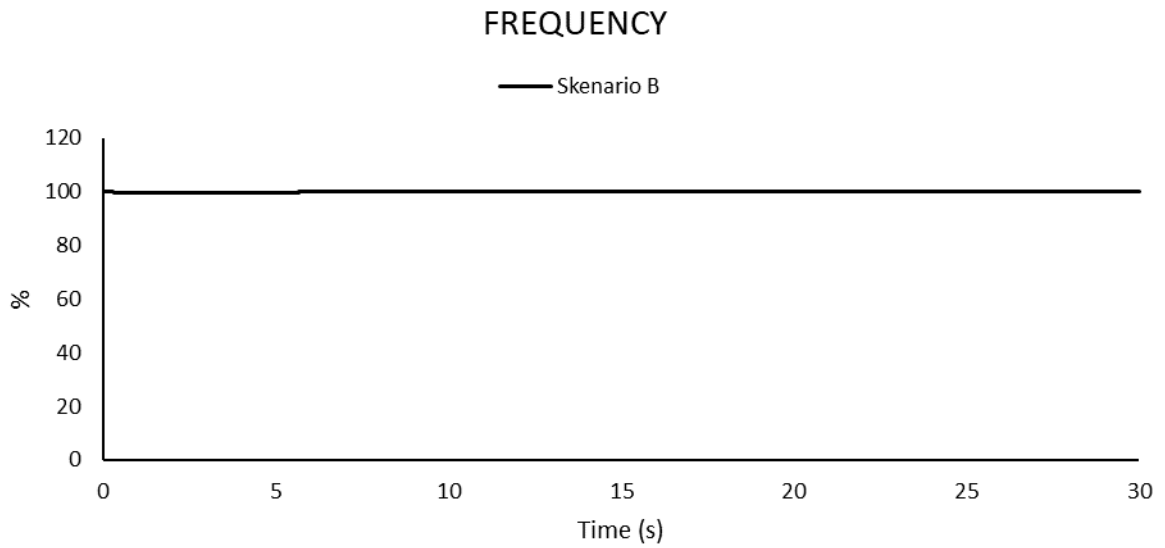
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



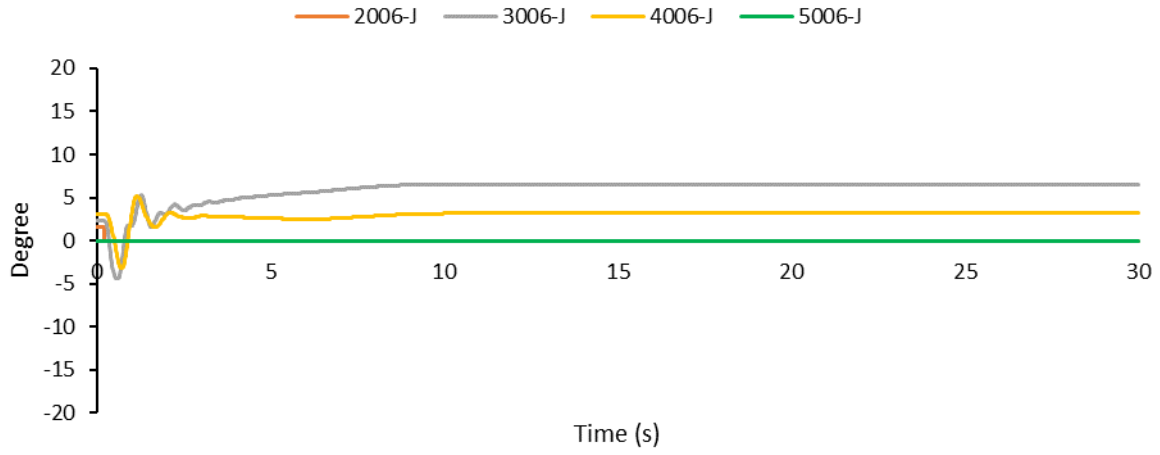
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



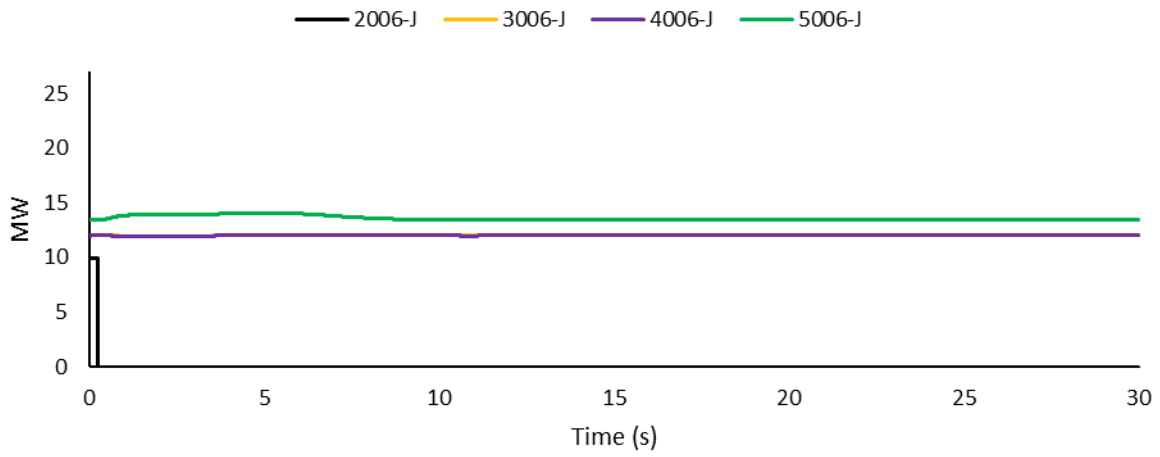
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi STG Off, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



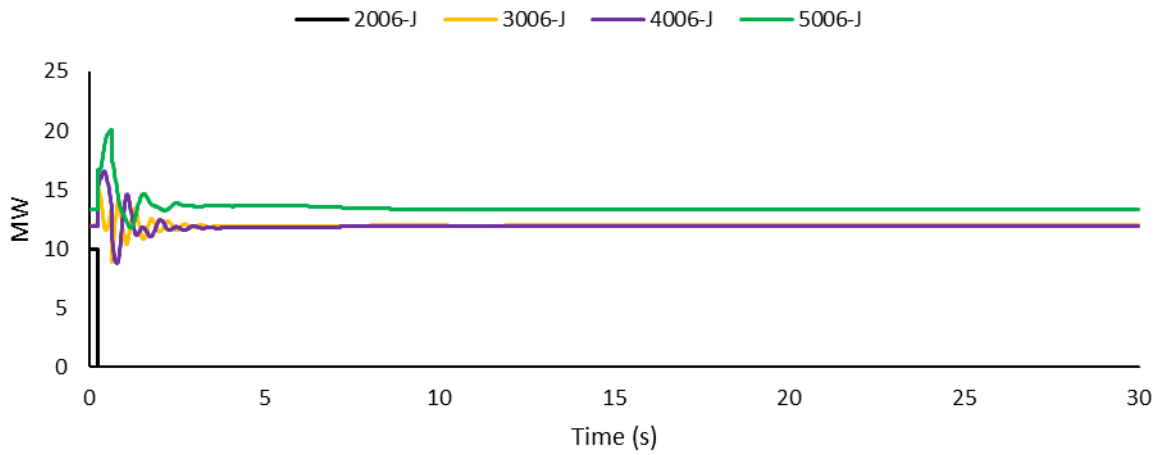
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



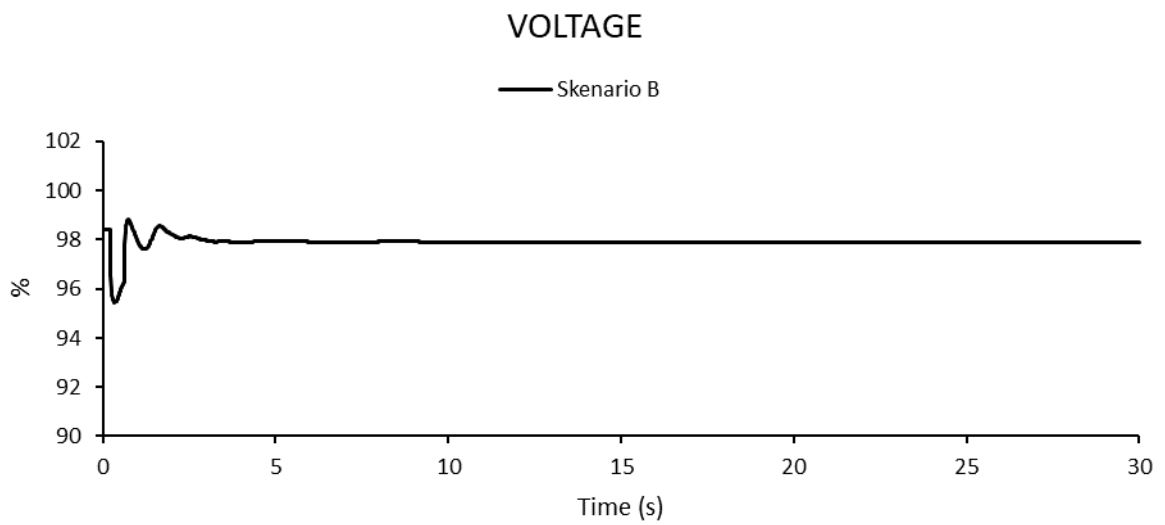
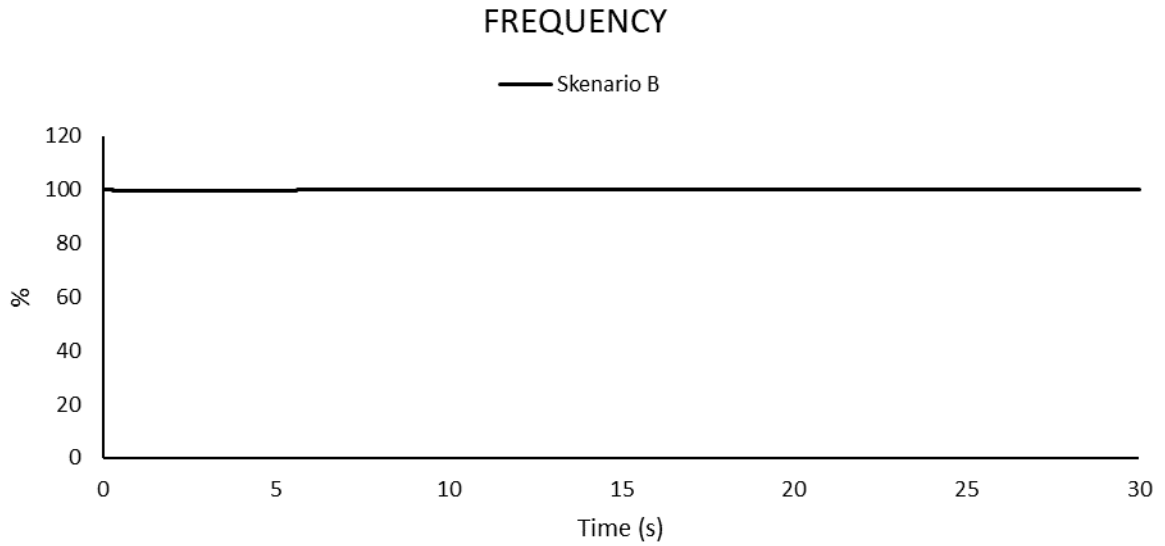
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



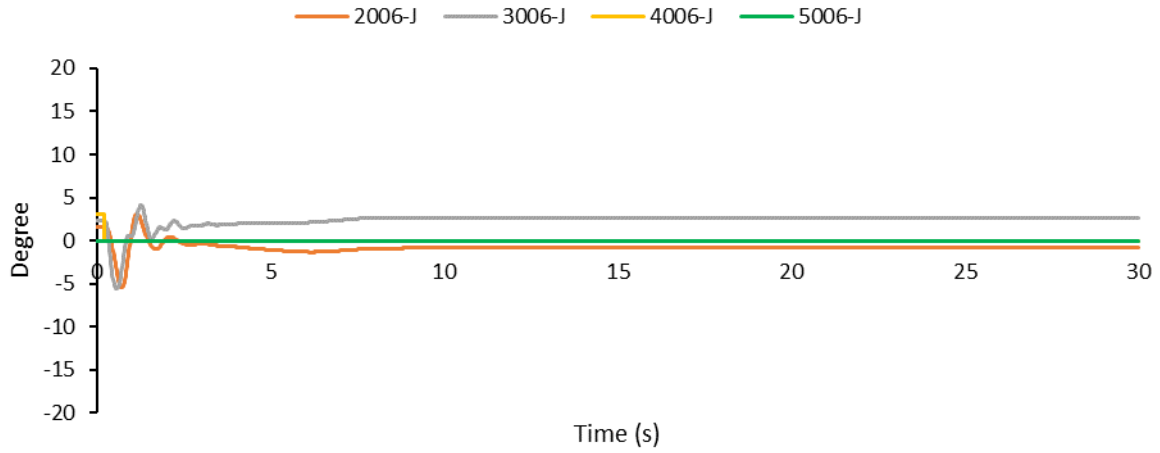
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



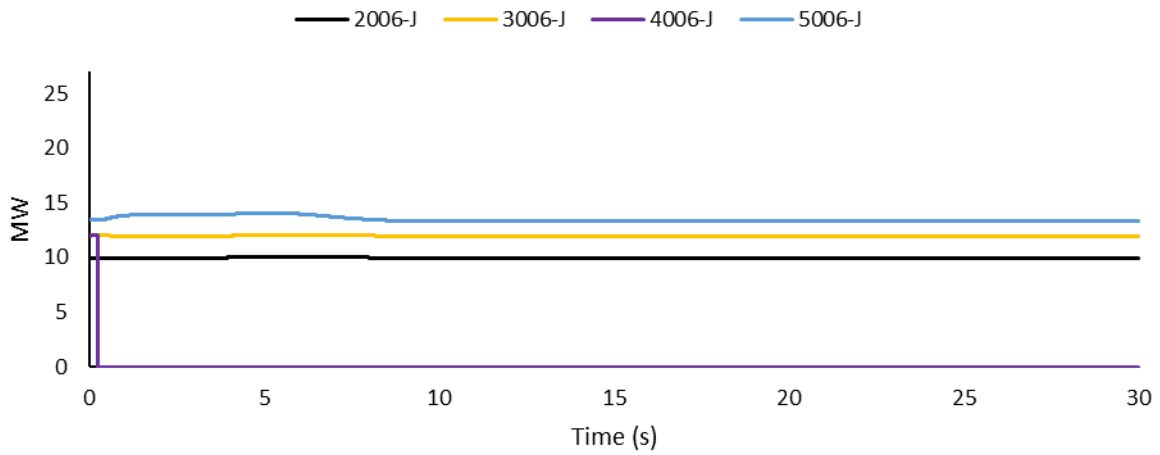
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi STG Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



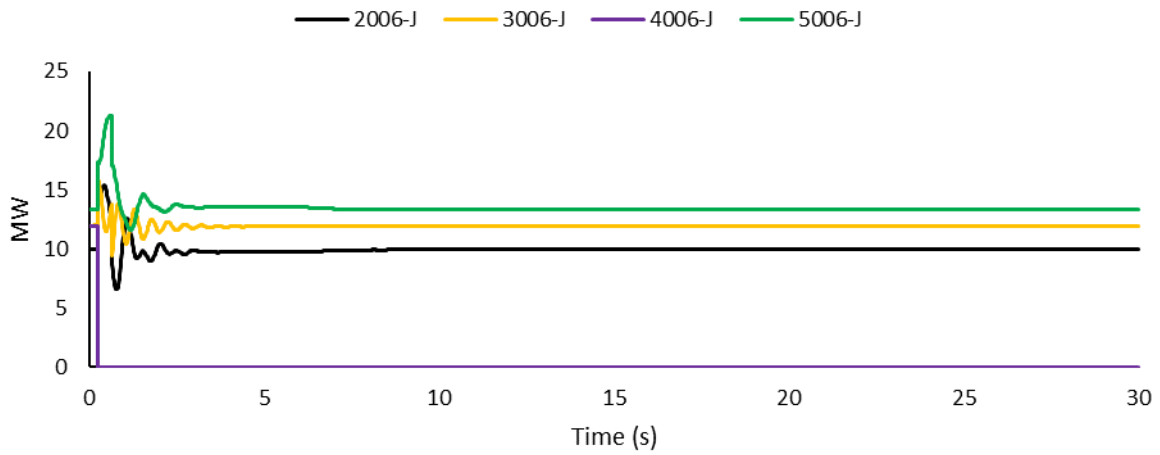
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



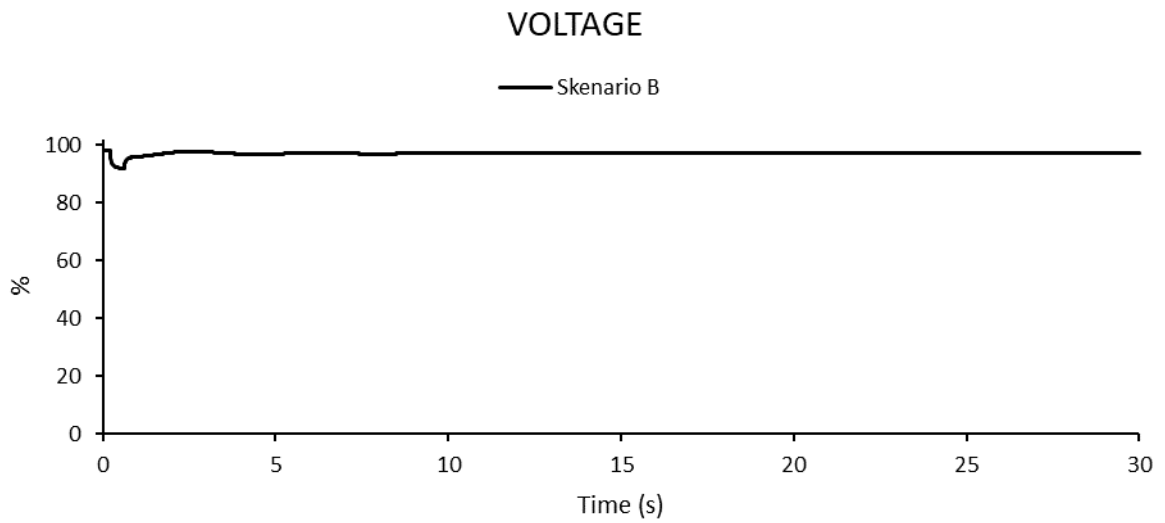
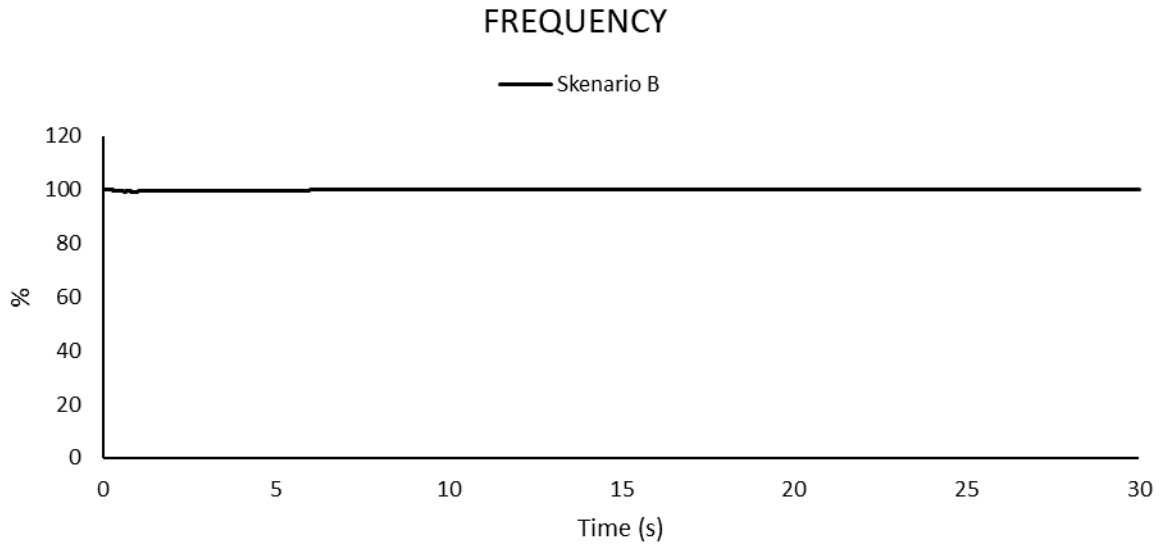
### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)



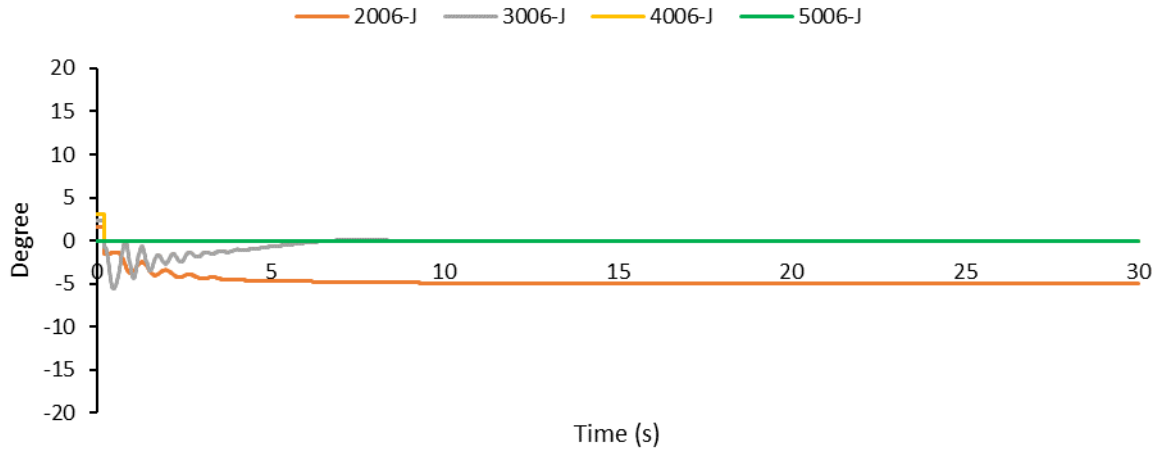
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



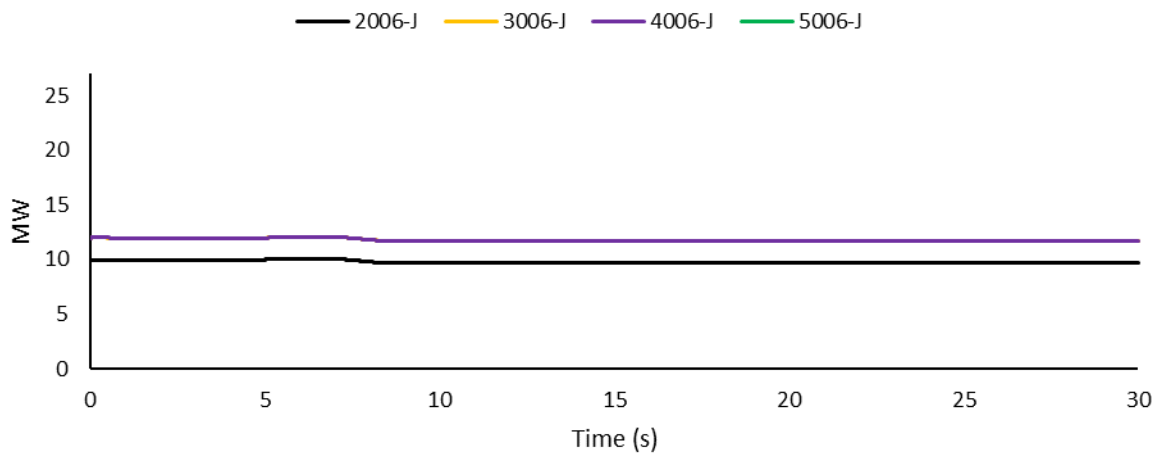
- *Studi Kasus Skenario B Pola Operasi STG Off, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*



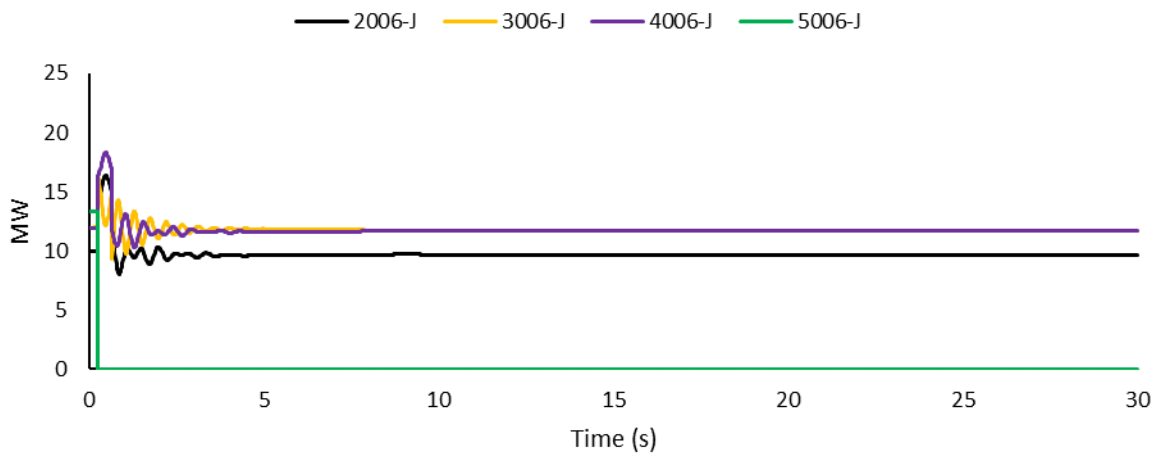
### POWER ANGLE (SKENARIO B)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO B)

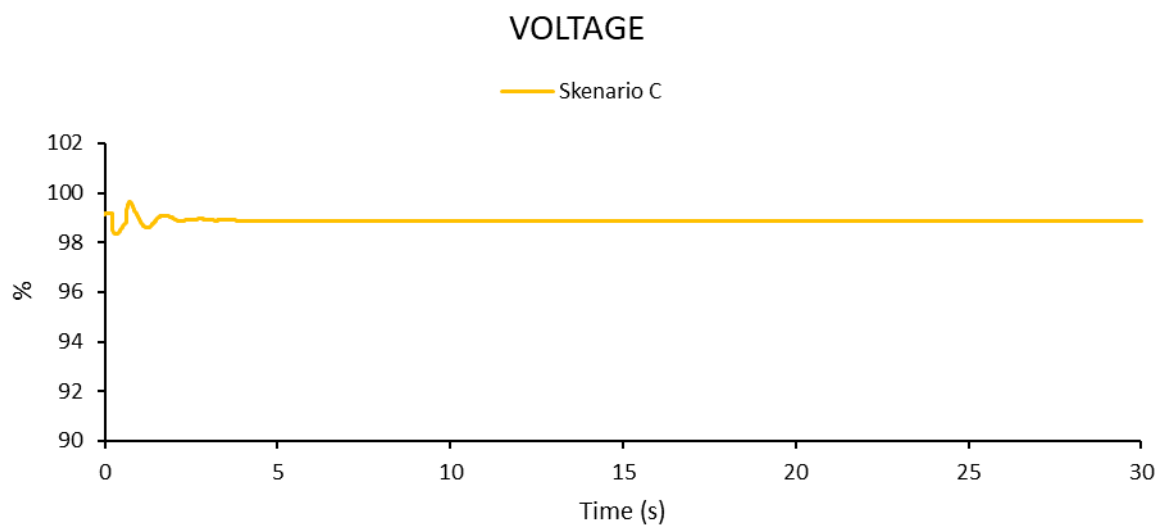
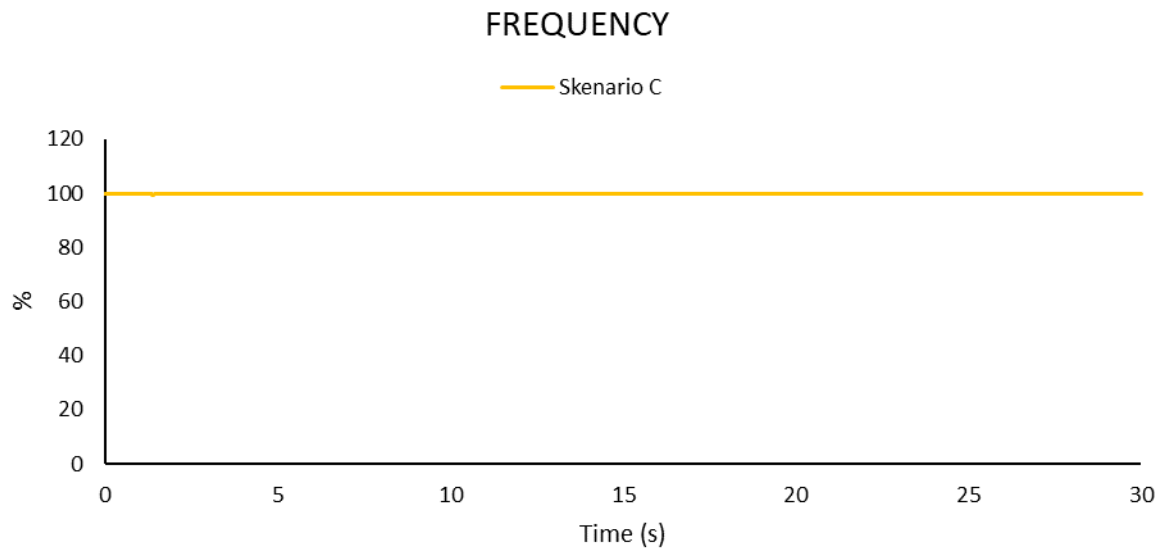


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO B)



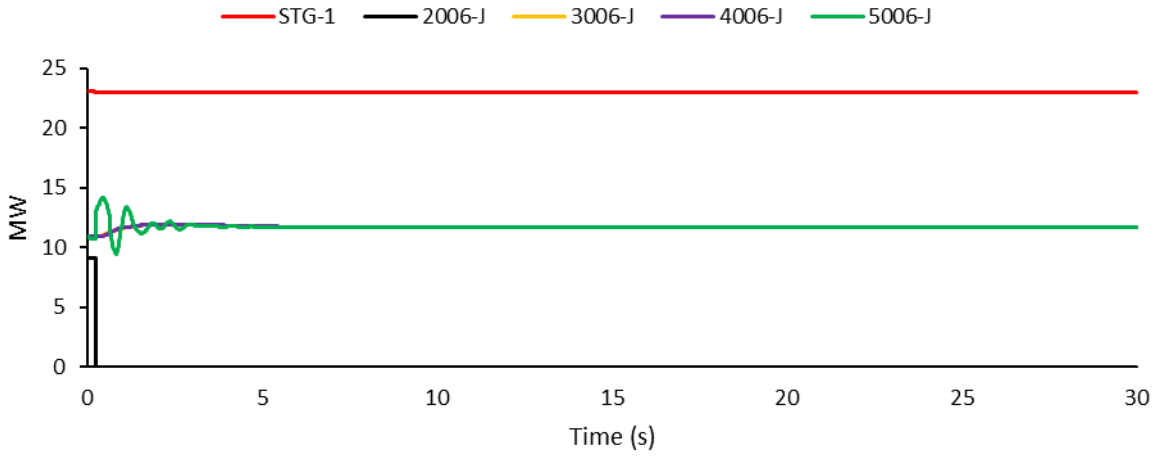
### Skenario C: Rekomendasi Status

- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

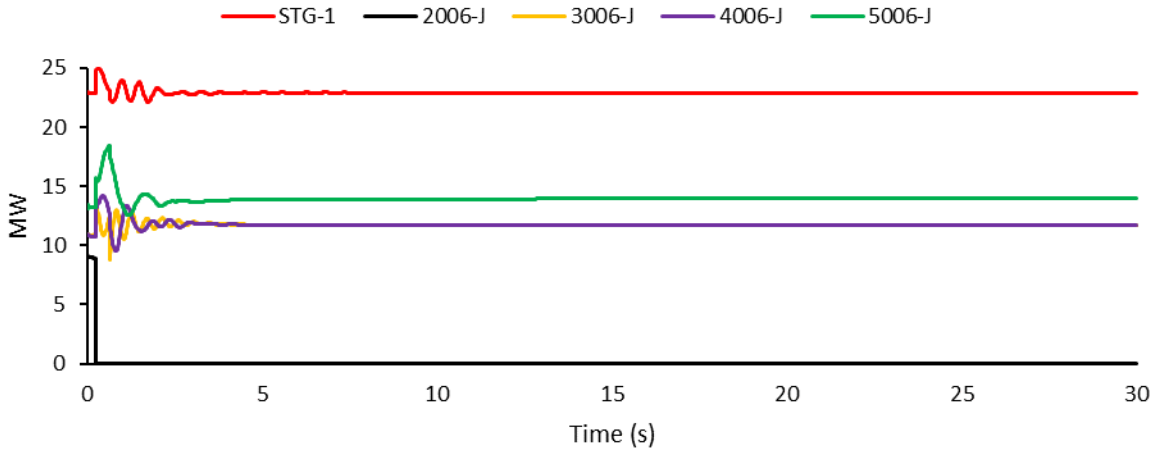




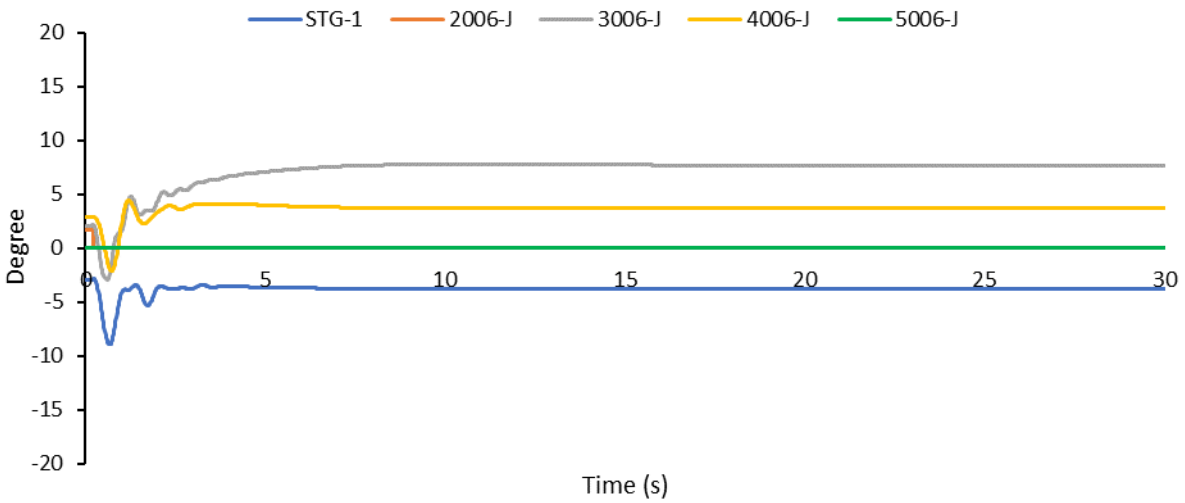
### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)



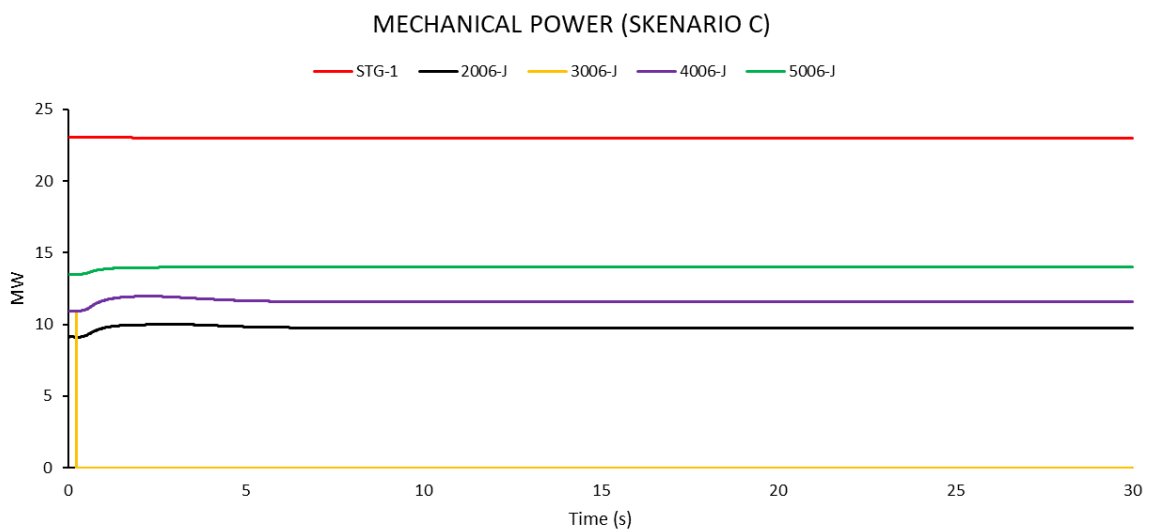
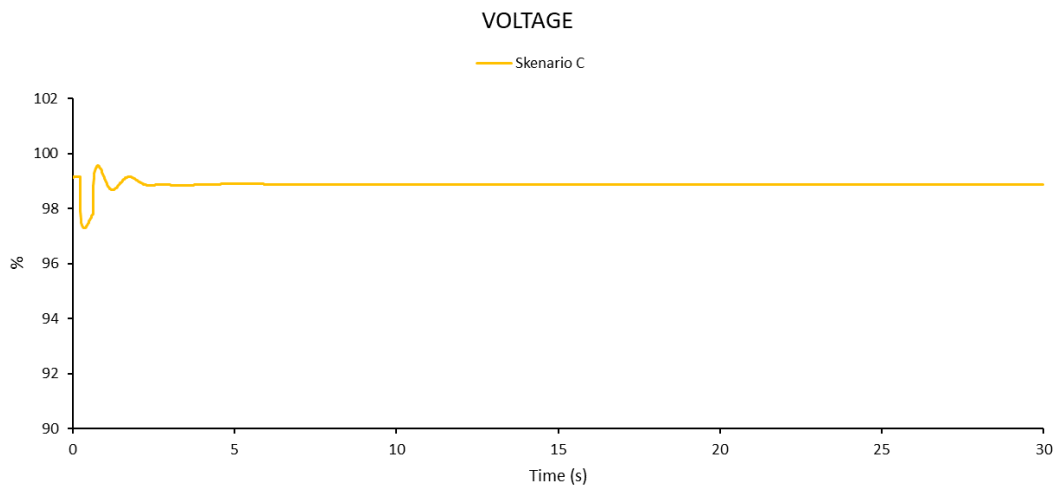
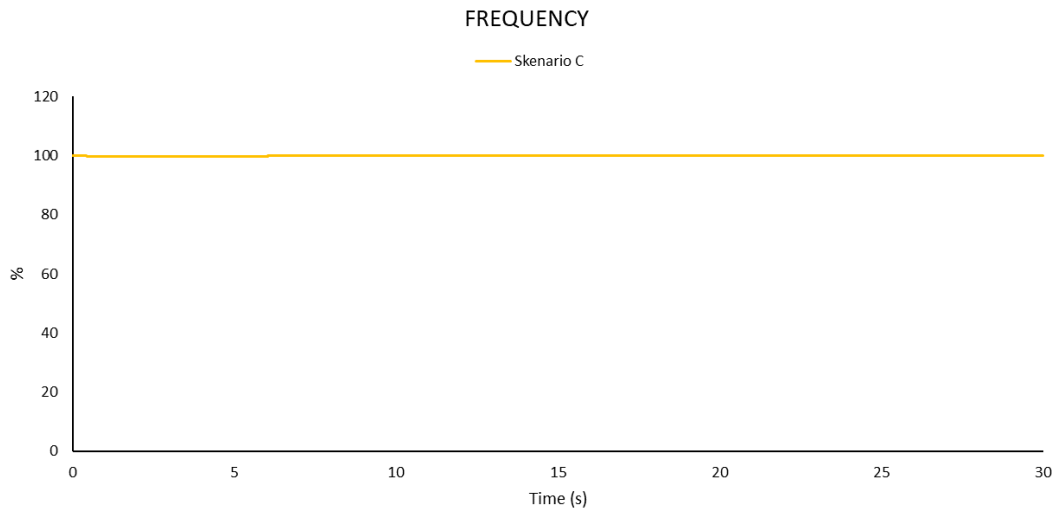
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO C)

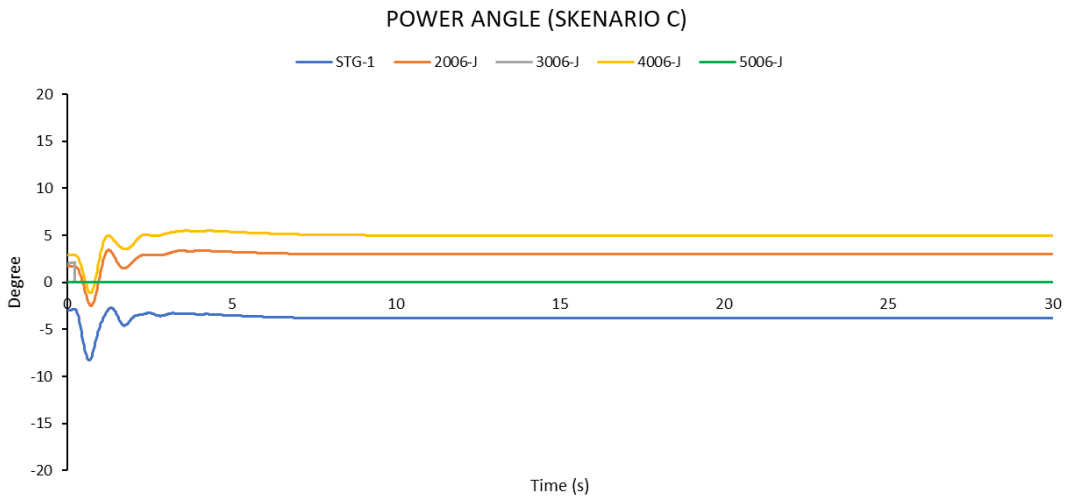
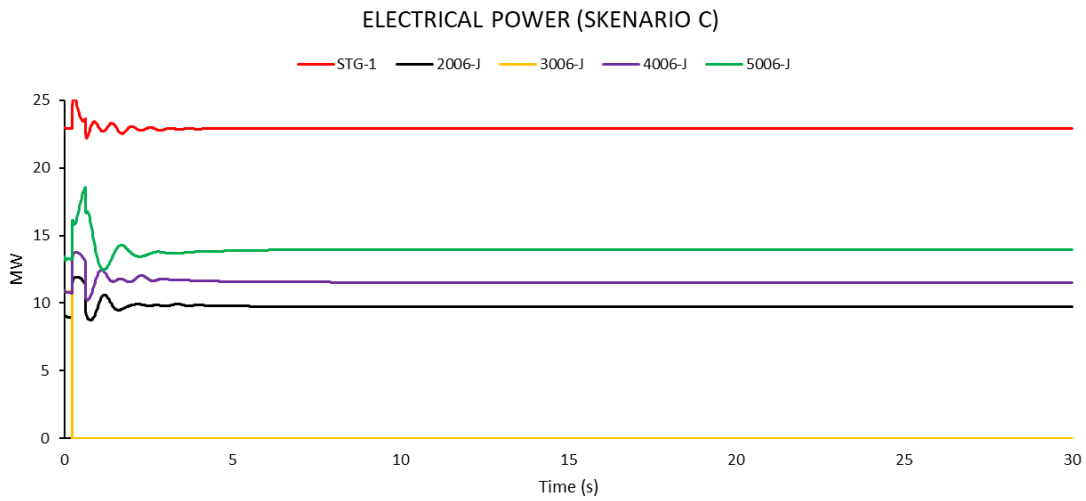


### POWER ANGLE (SKENARIO C)

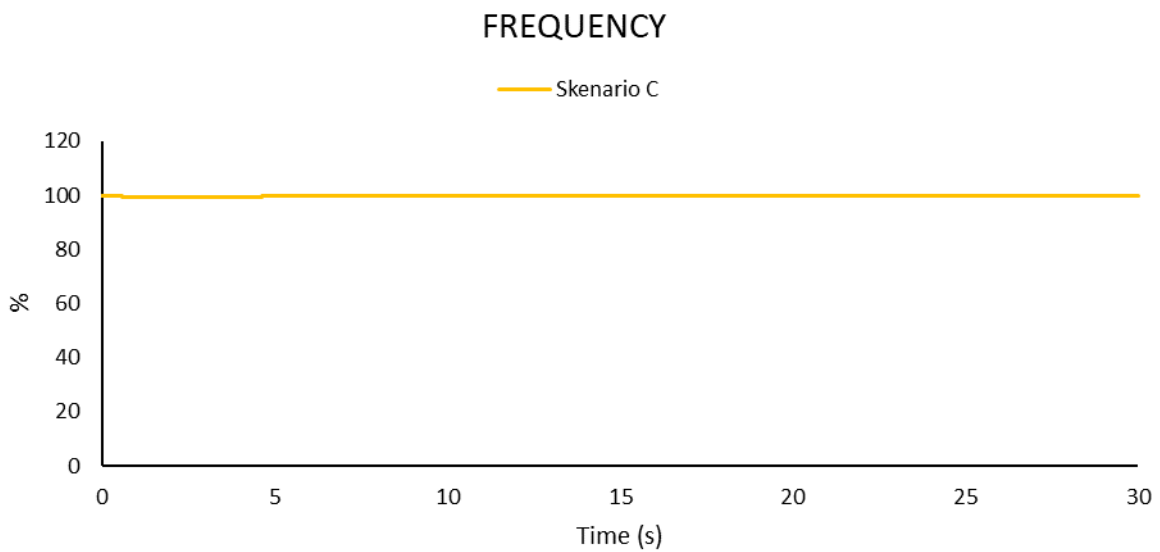


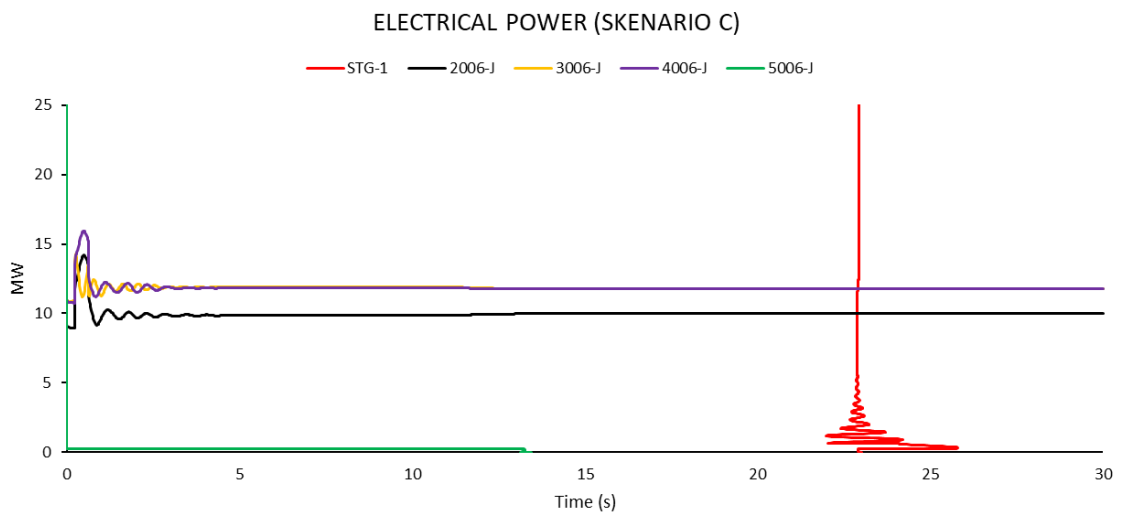
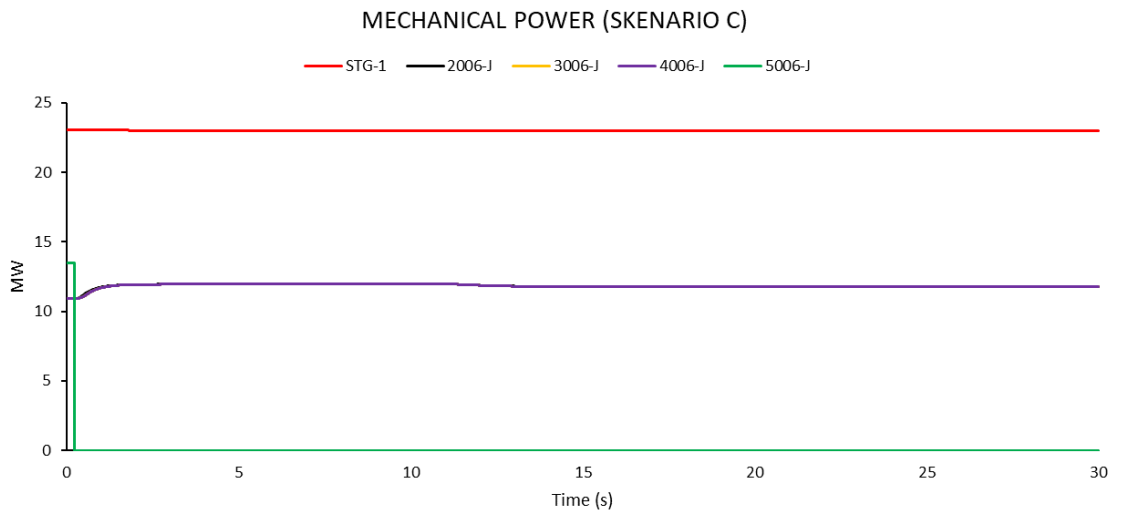
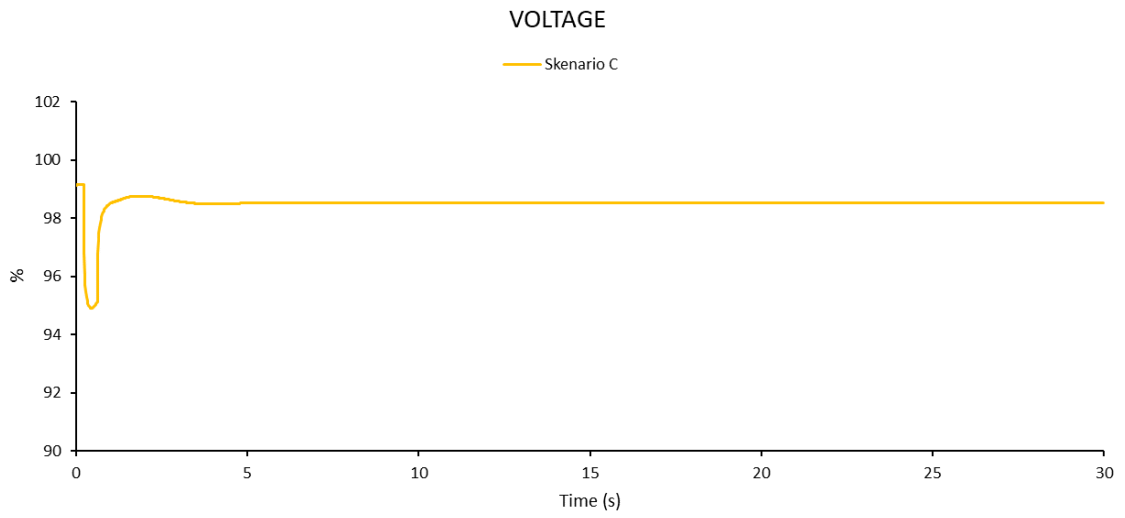
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

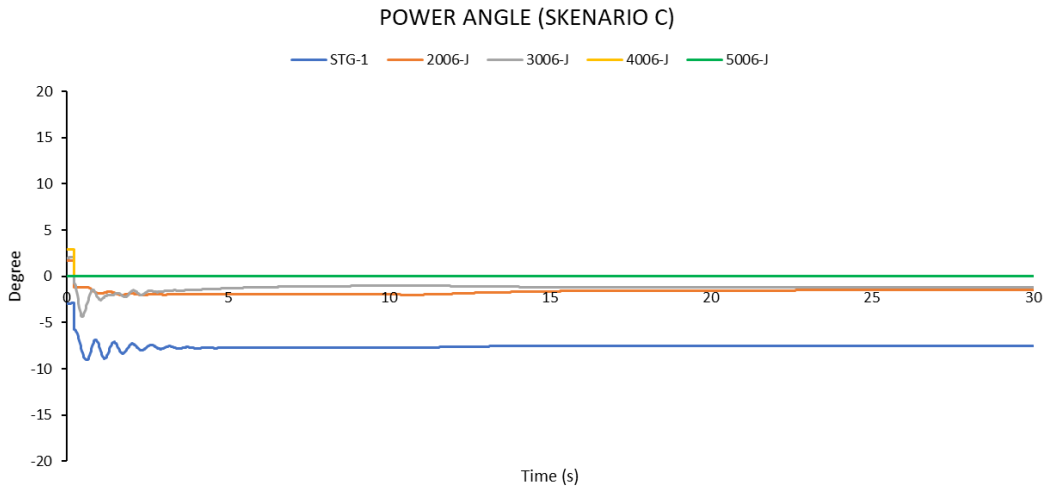




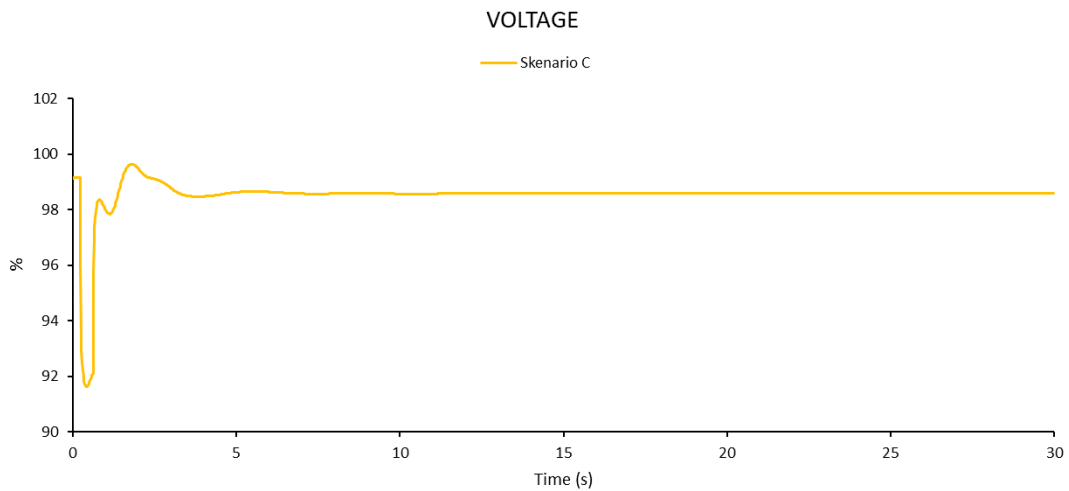
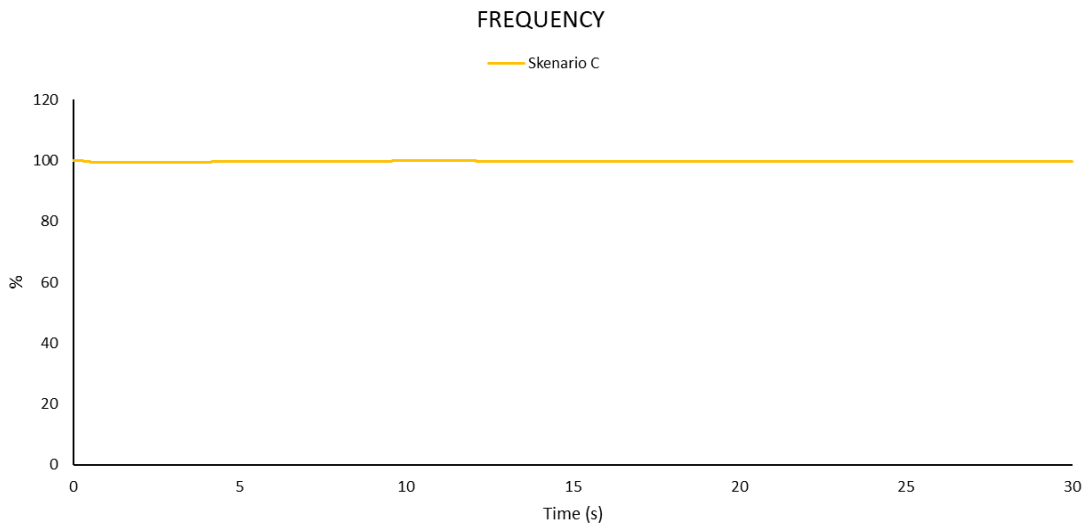
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator P1B Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*



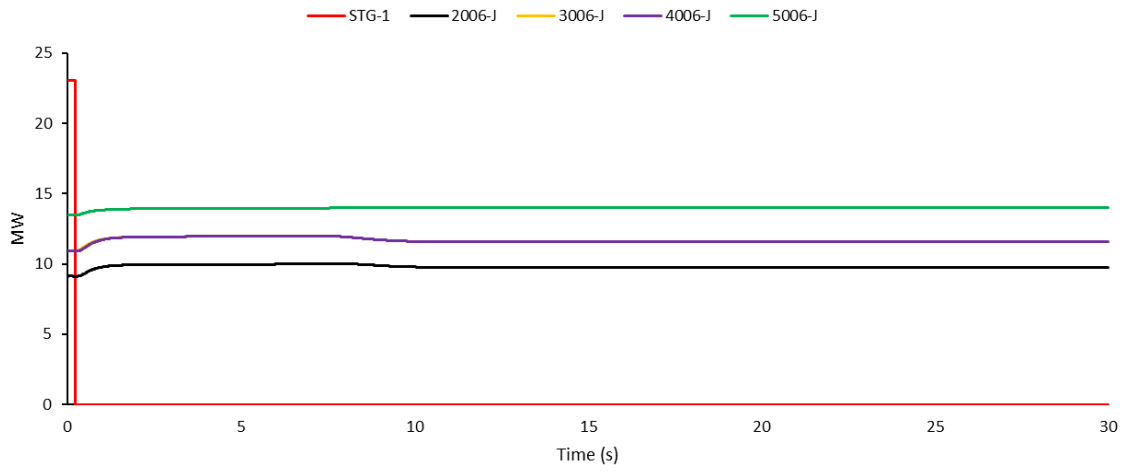




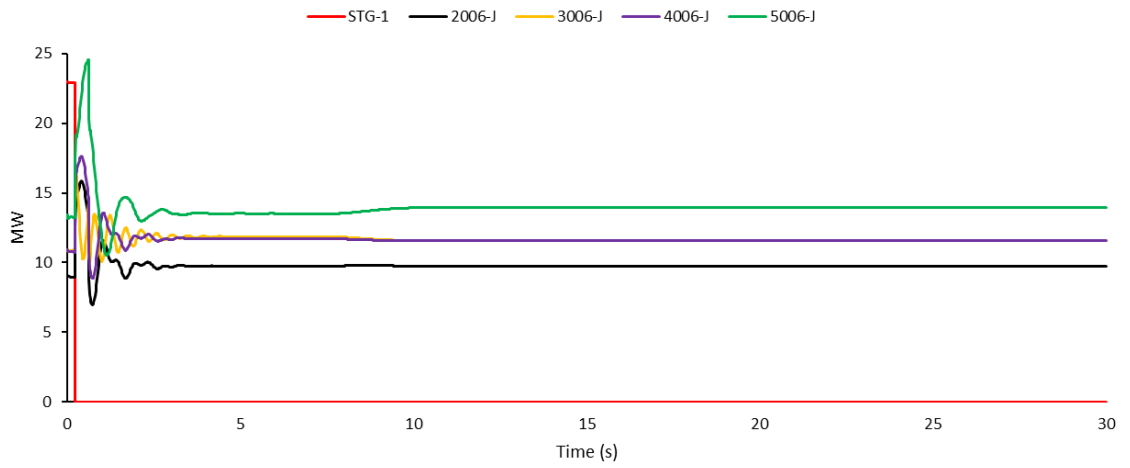
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator STG Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*



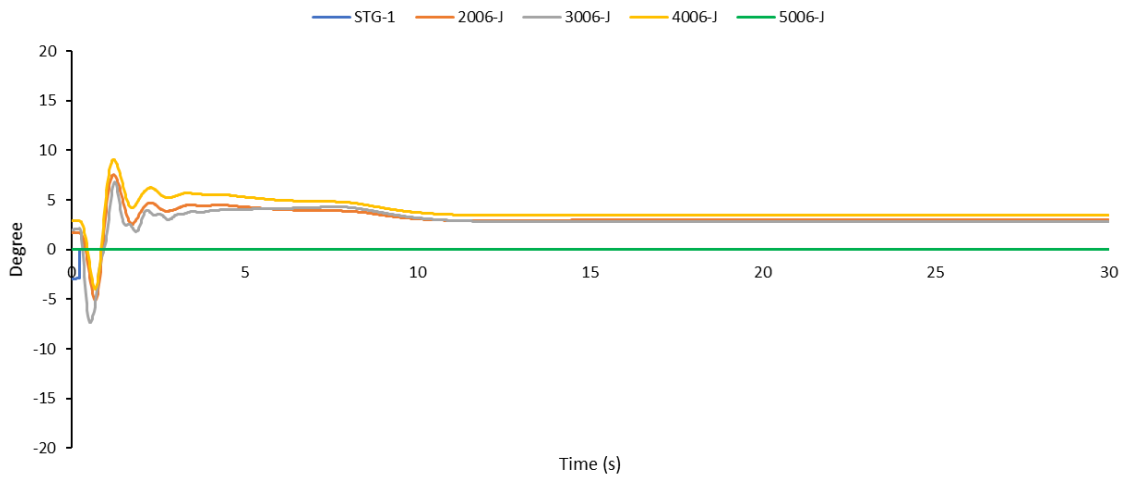
### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)



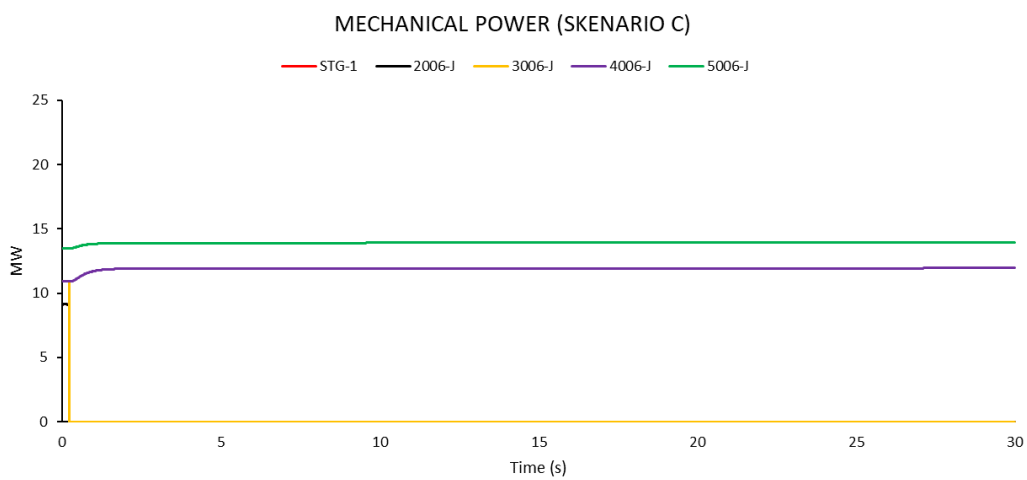
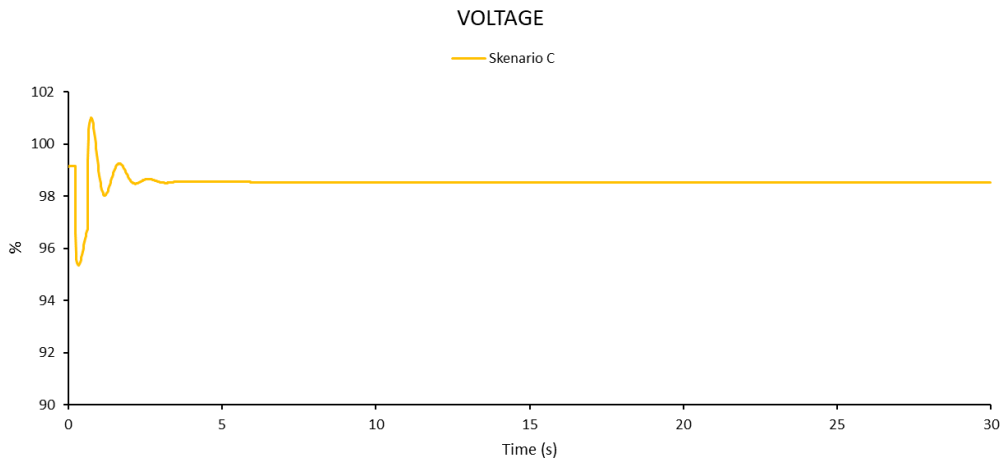
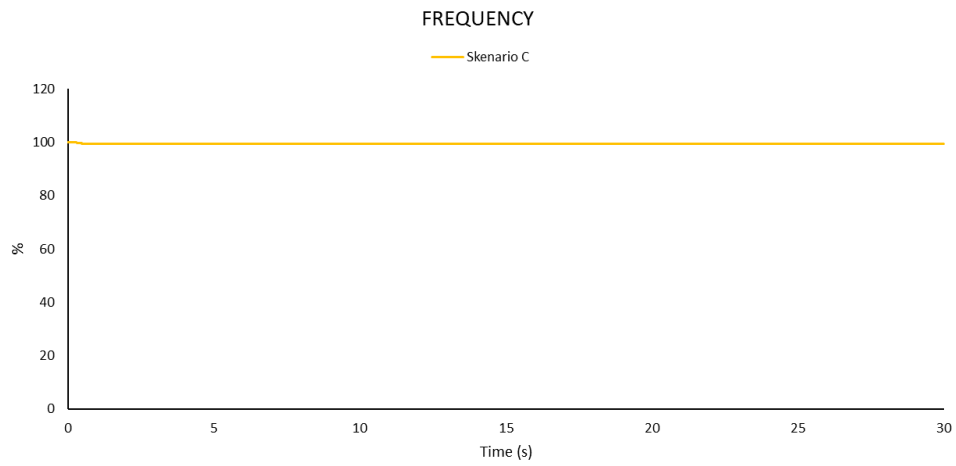
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO C)

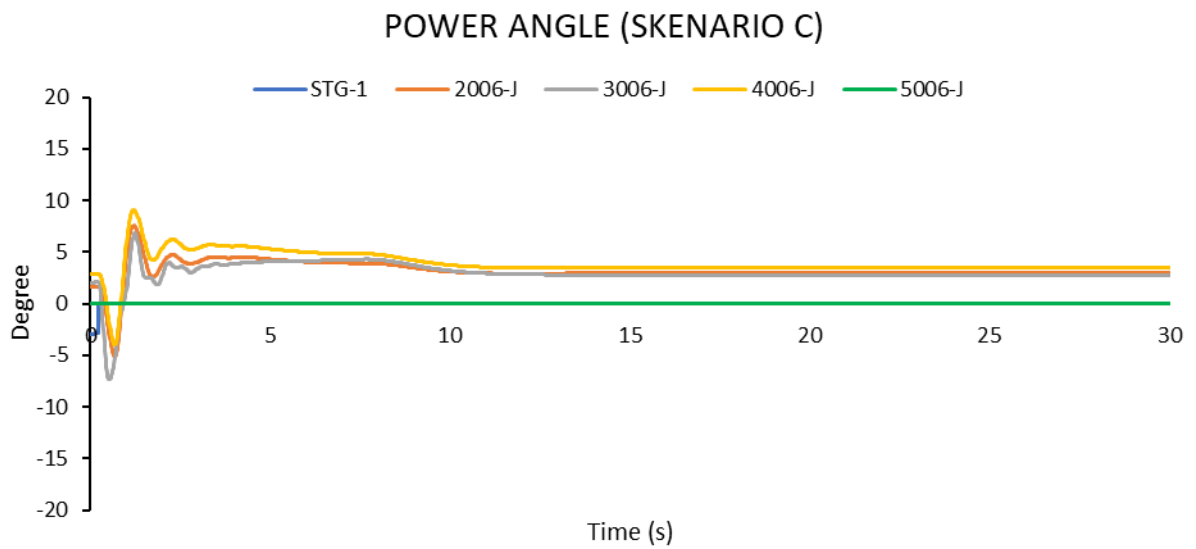
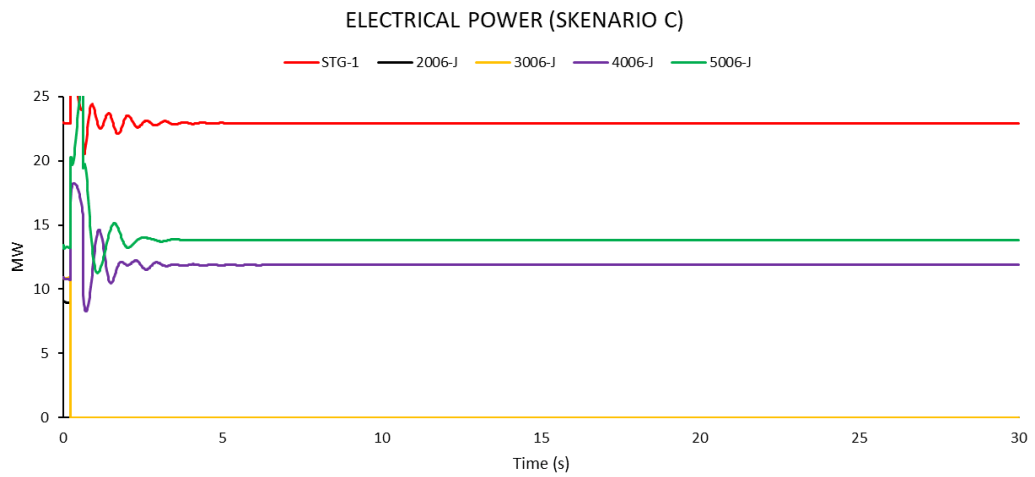


### POWER ANGLE (SKENARIO C)



- **Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator P2 & P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)**

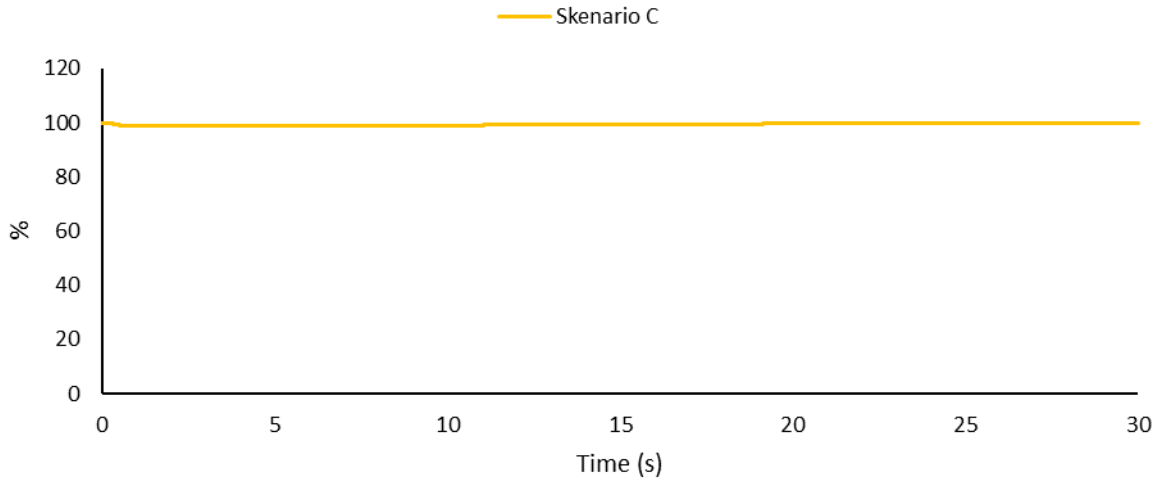




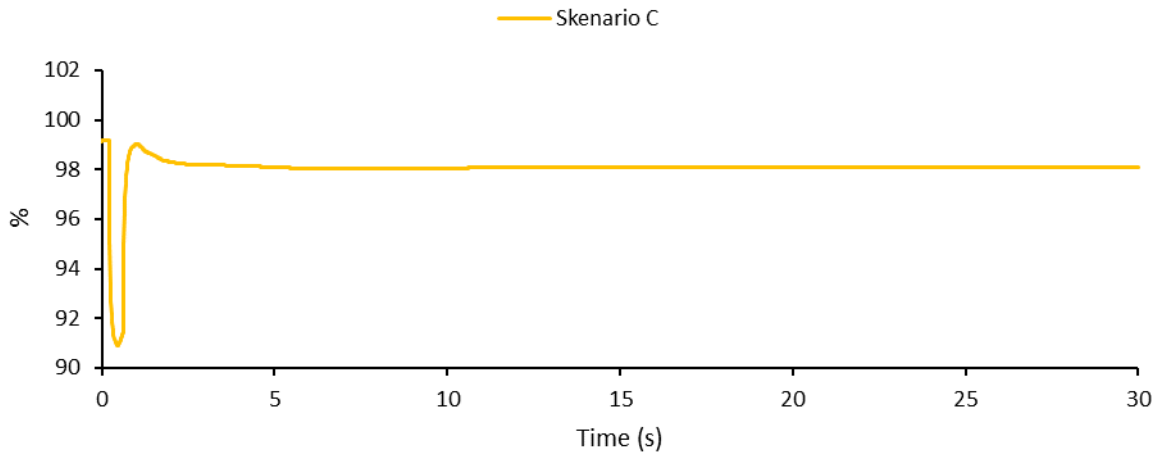
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator P2 & P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*



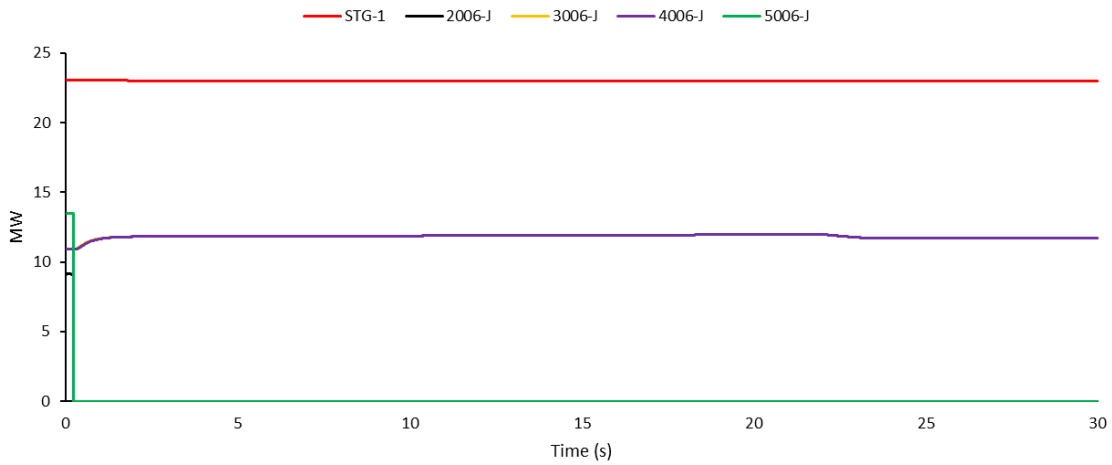
### FREQUENCY

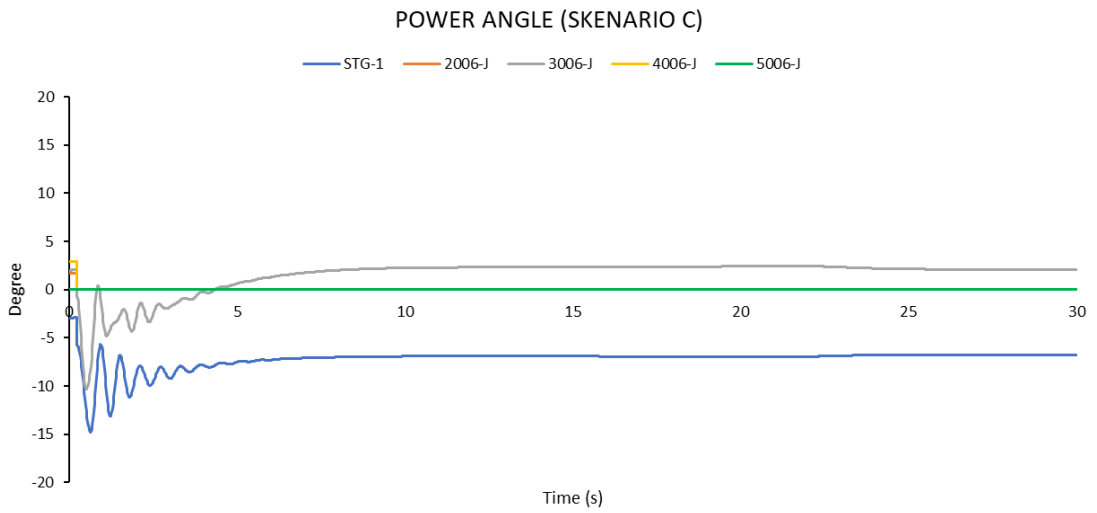
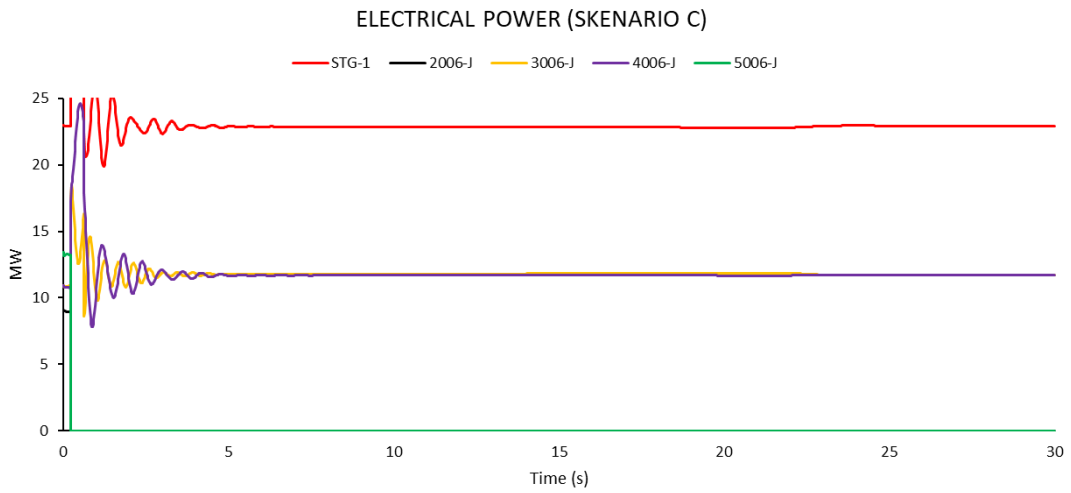


### VOLTAGE

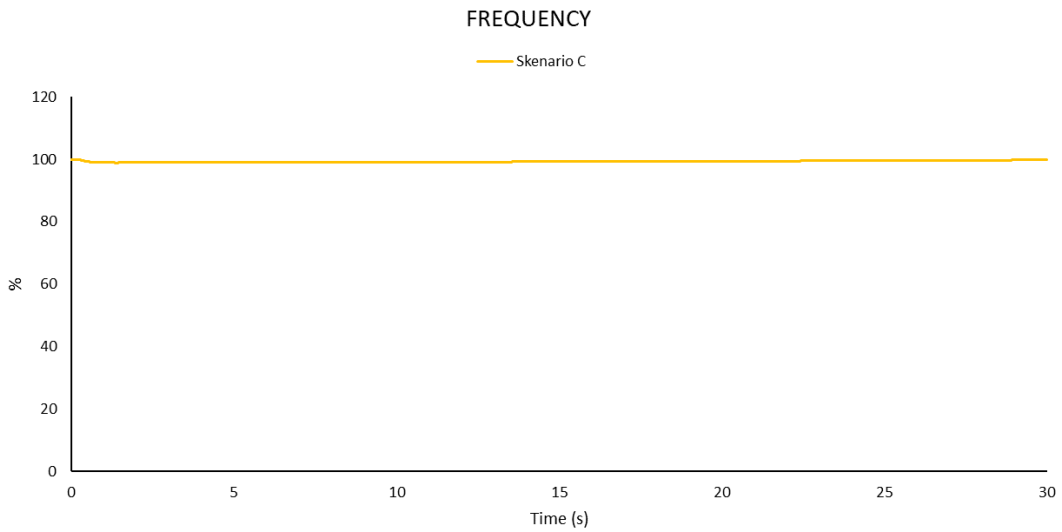


### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)

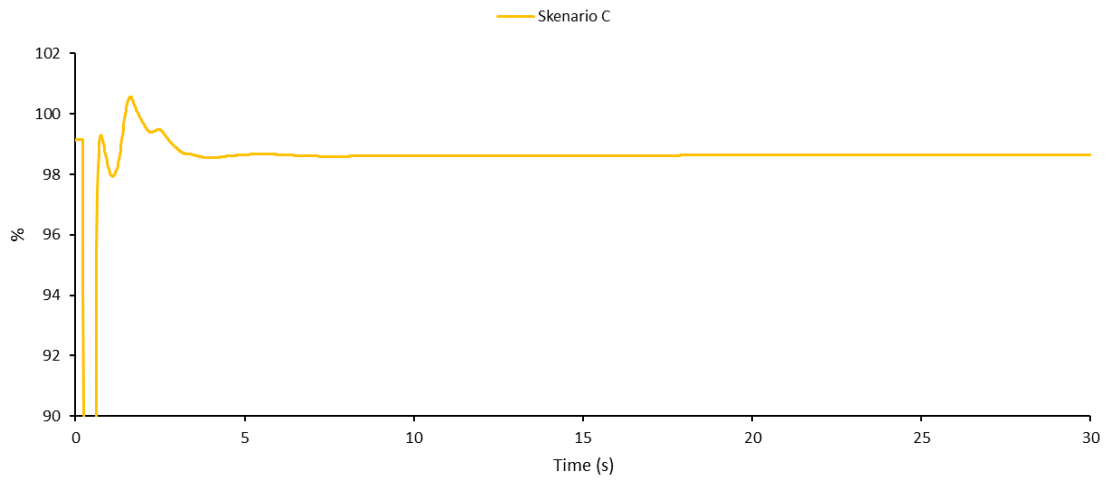




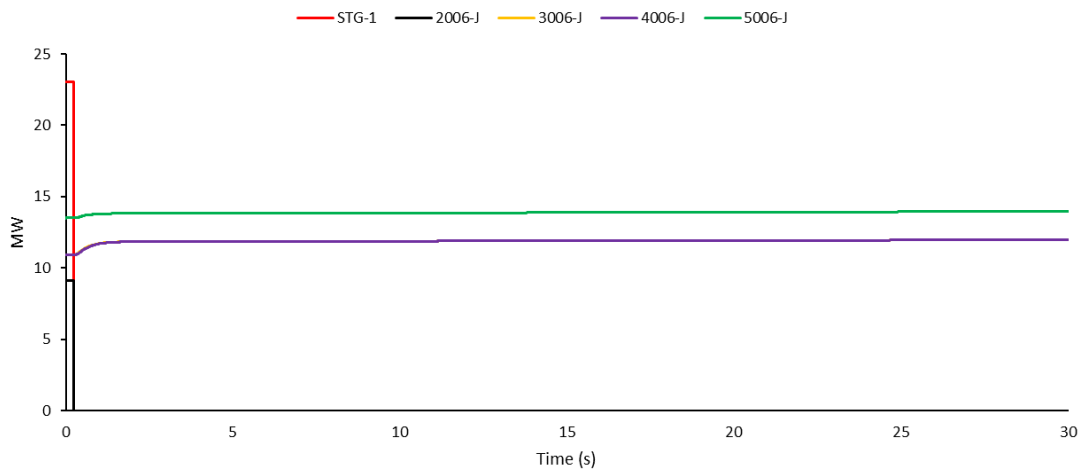
- **Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator STG & P2 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**



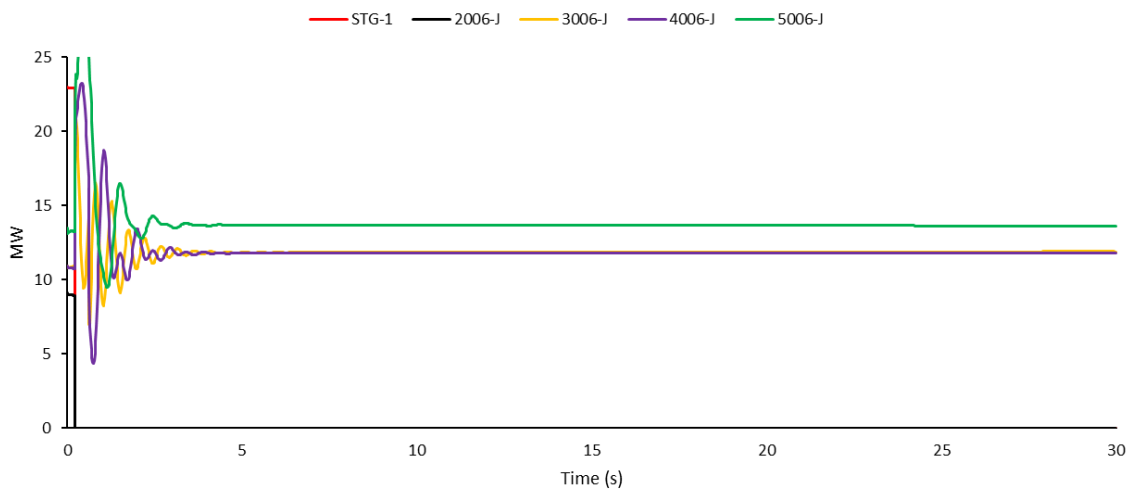
### VOLTAGE

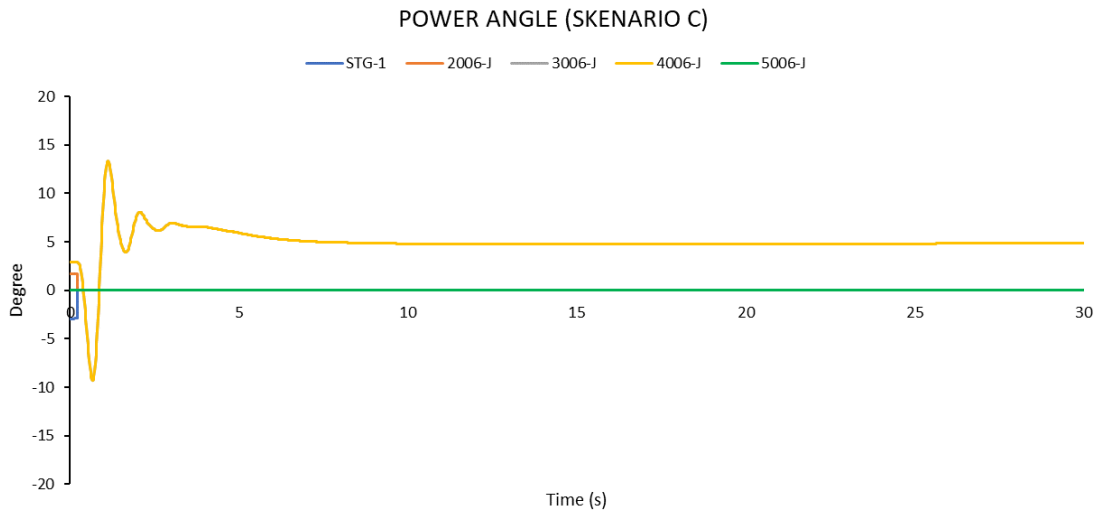


### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)

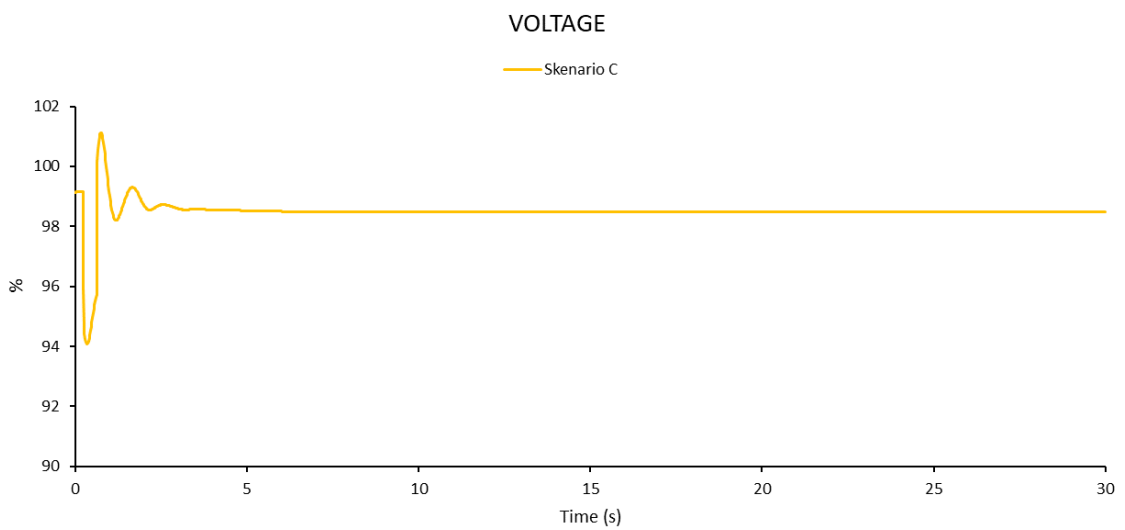
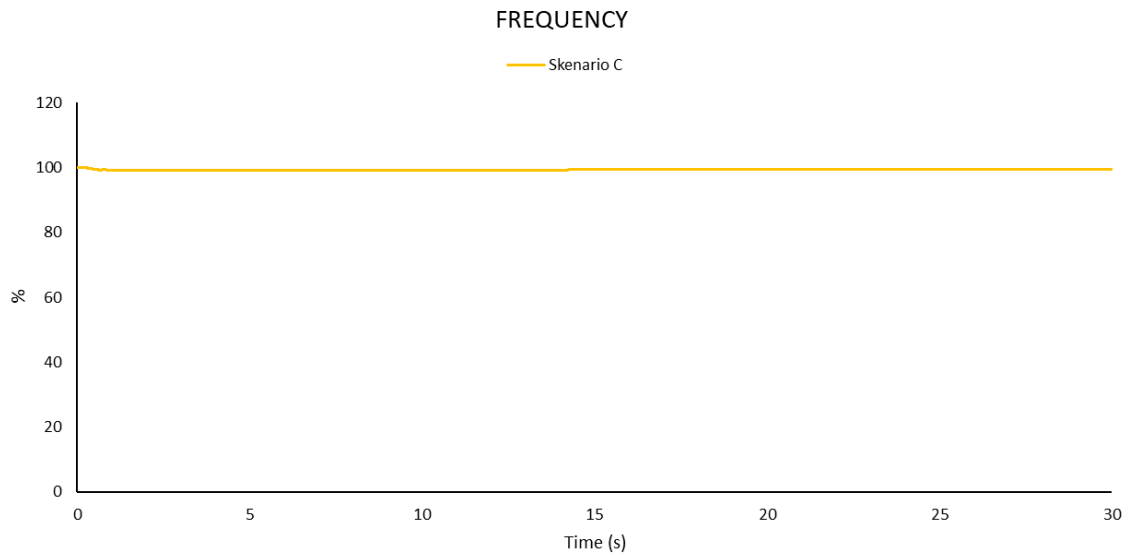


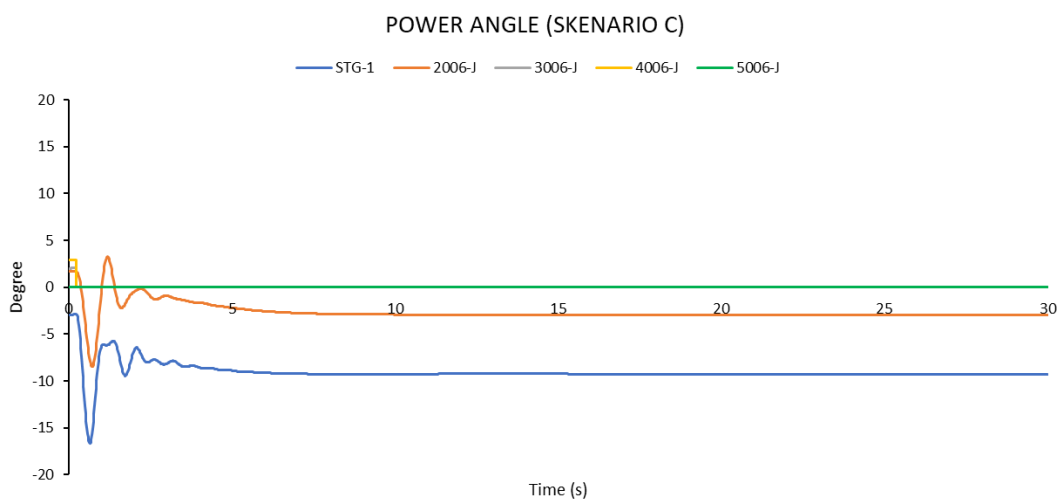
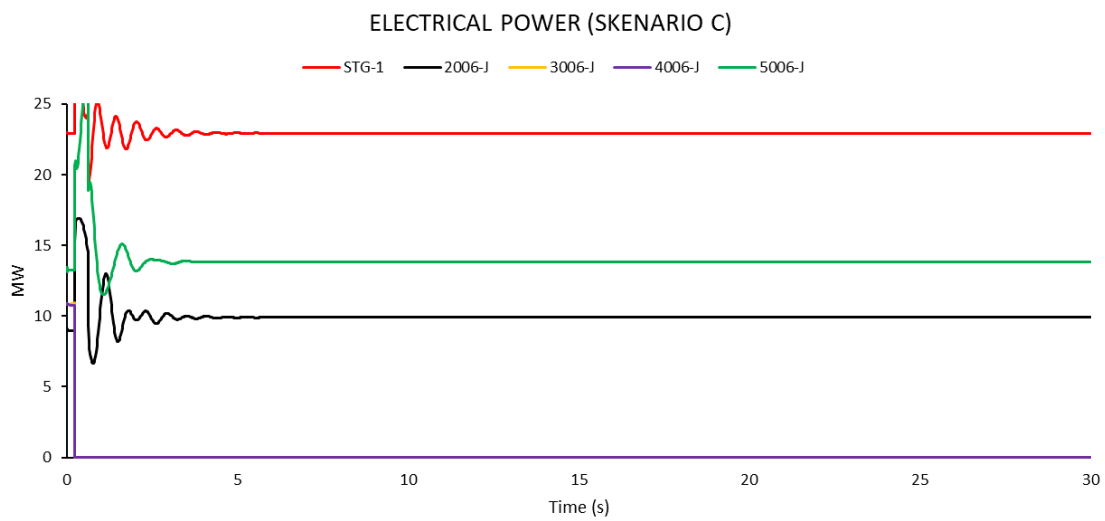
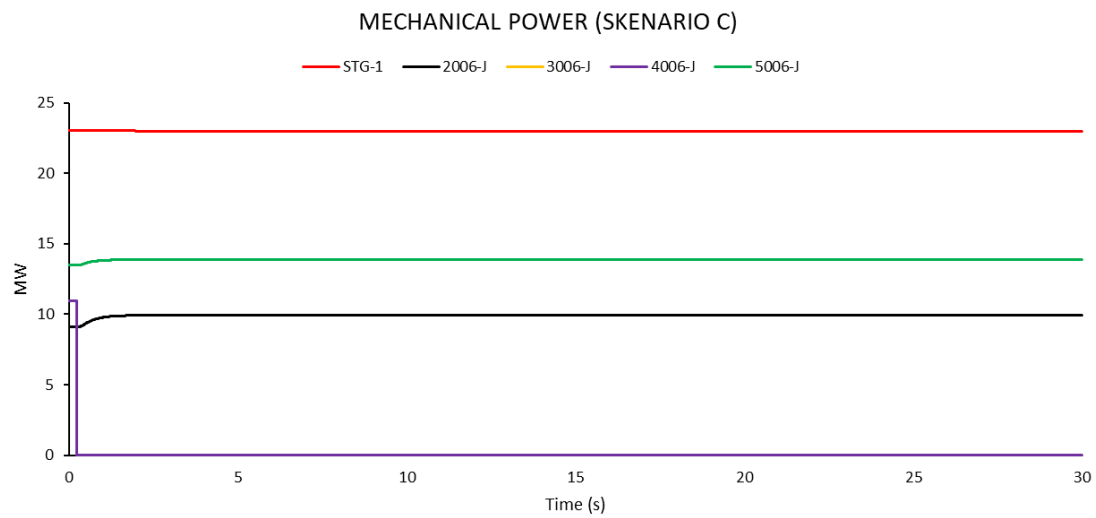
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO C)



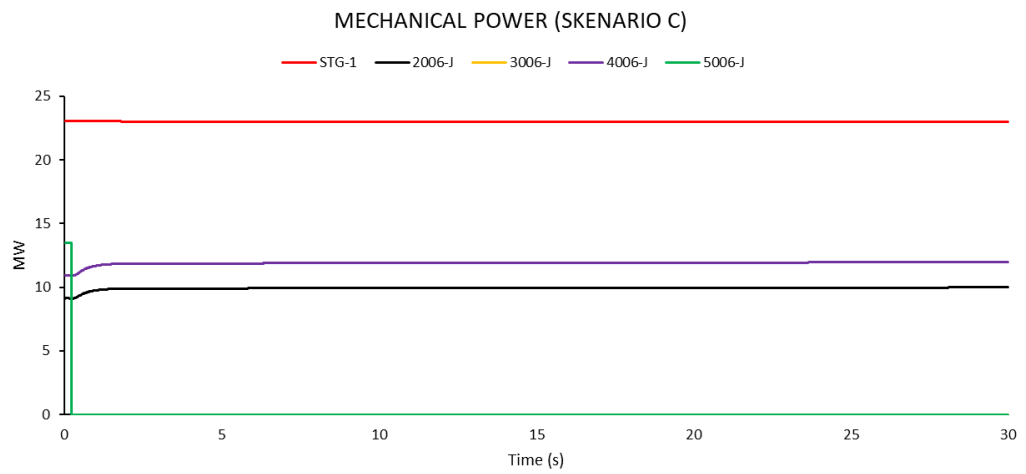
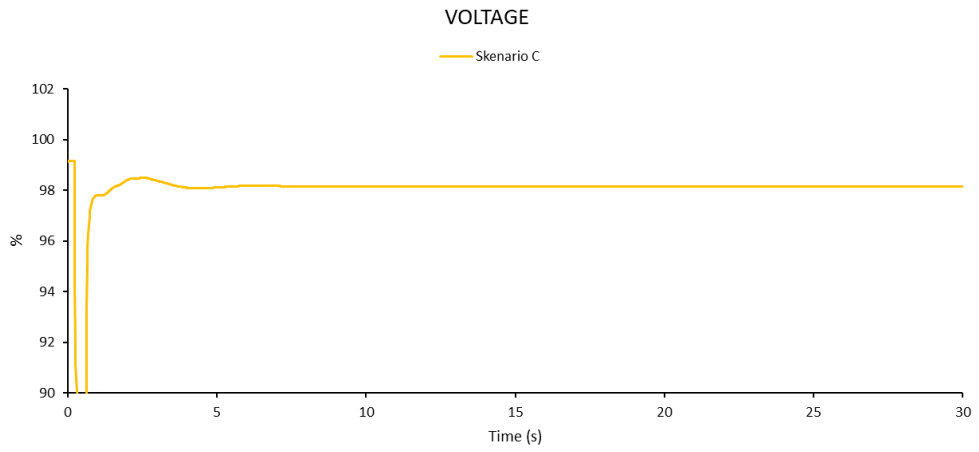
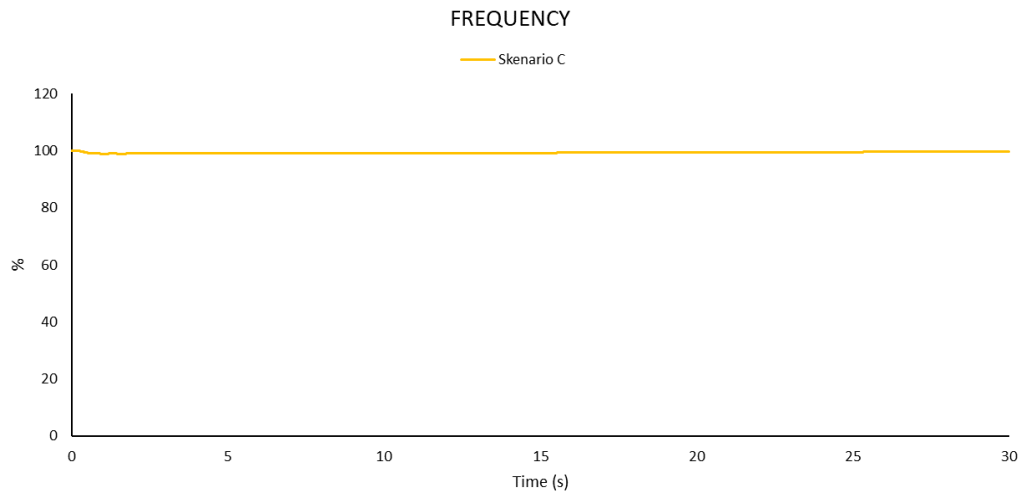


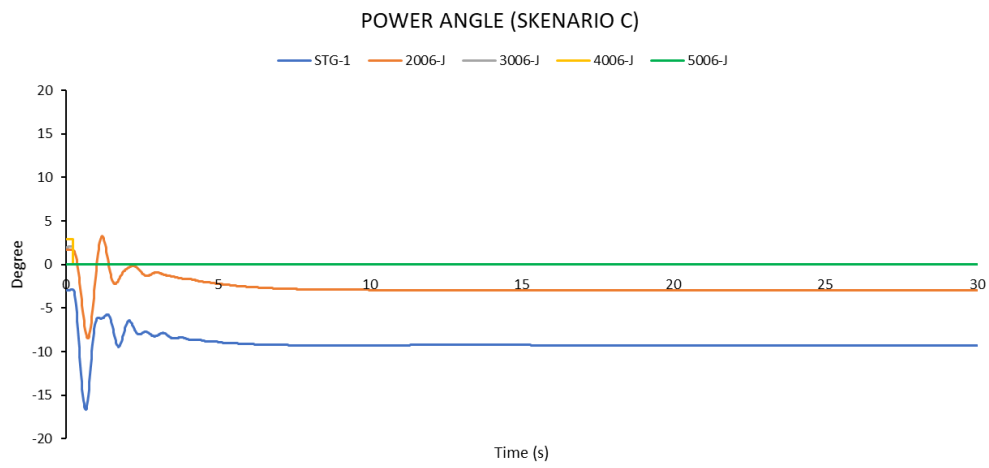
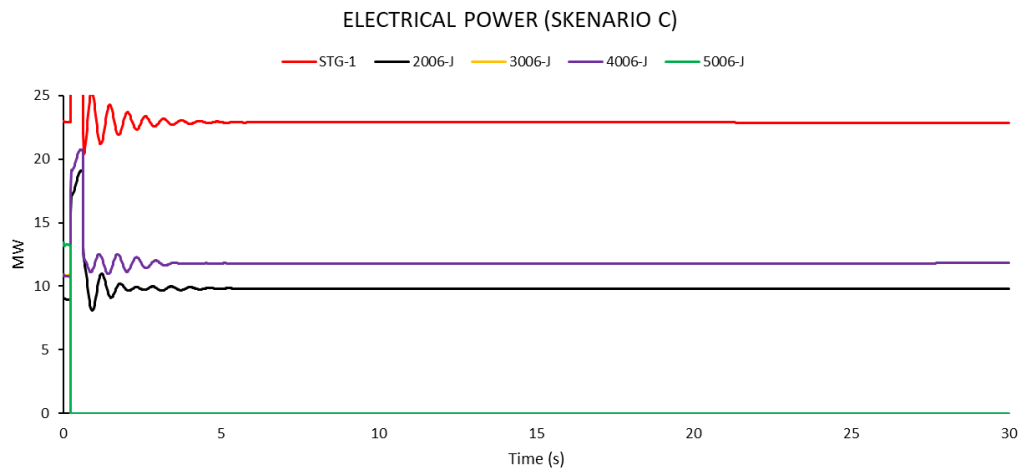
- *Studi Kasus Skenario C Operasi Normal, Generator P3 & P4 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*



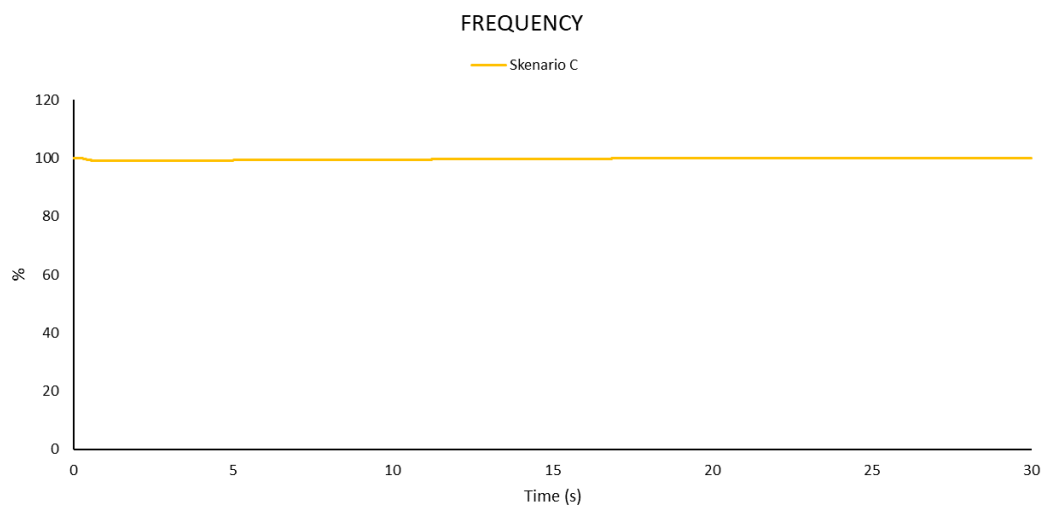


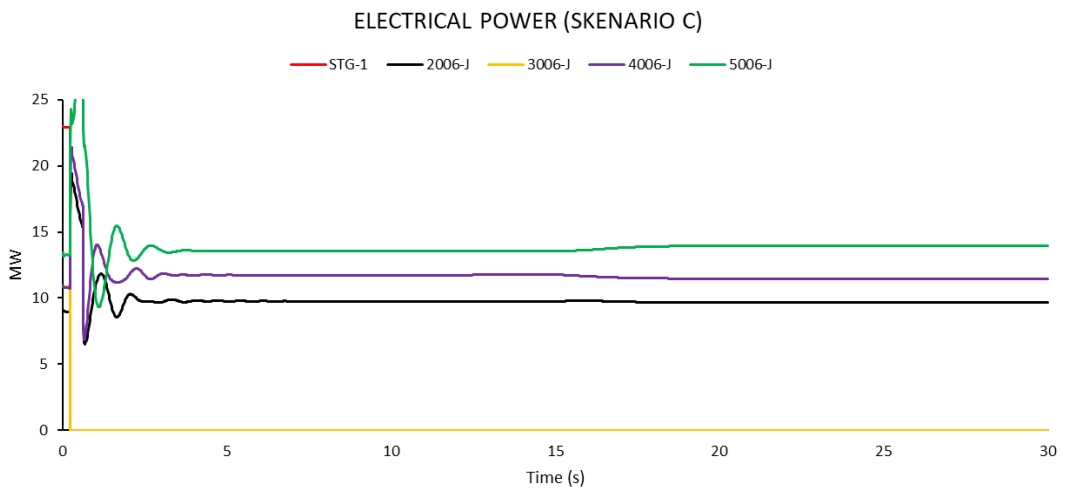
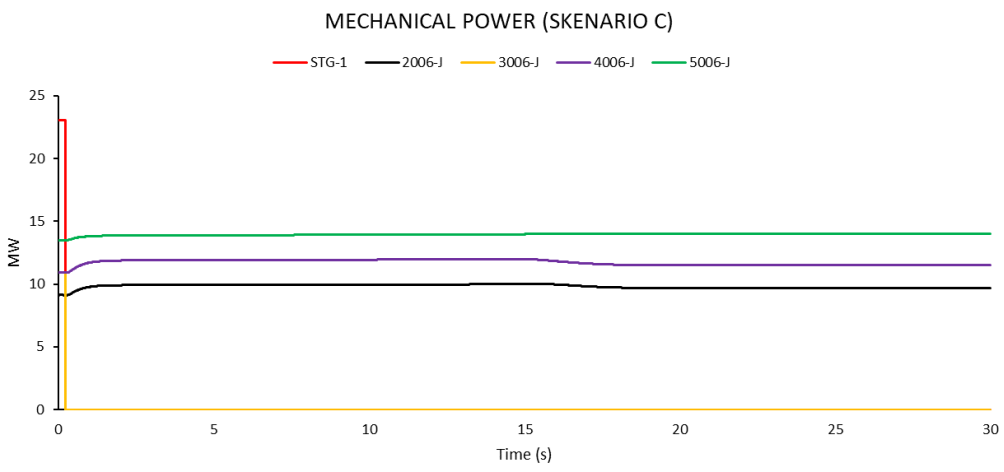
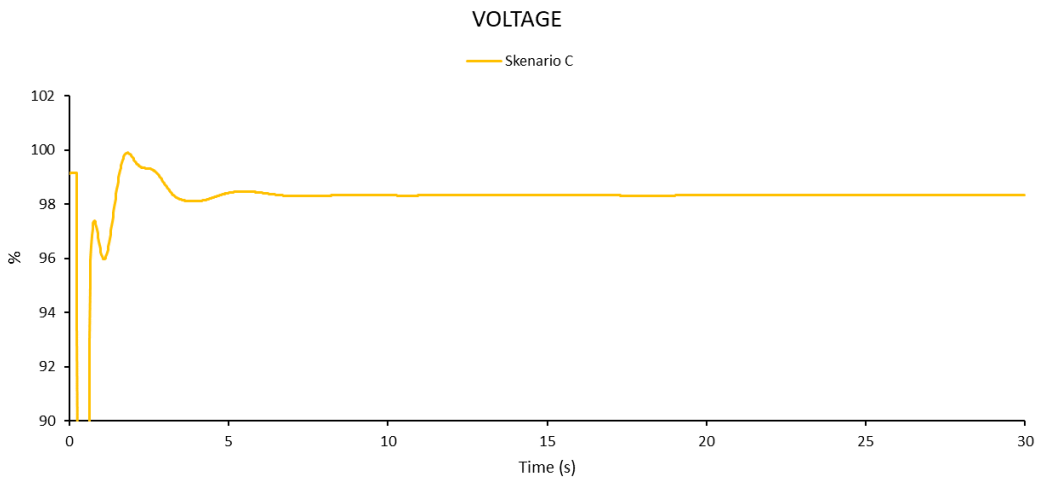
- **Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator P3 & P1B Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**



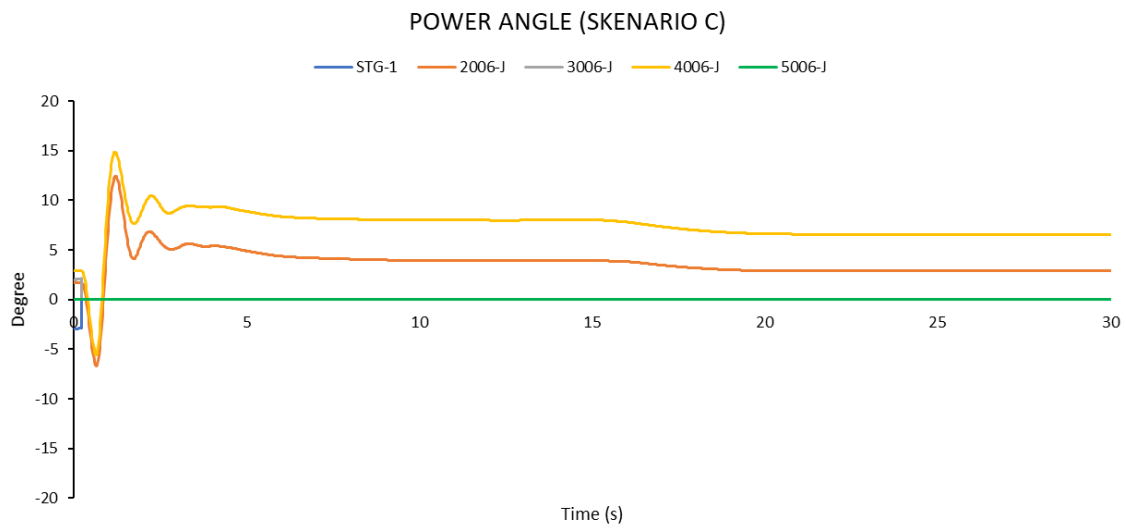


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi Normal, Generator STG & P3 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

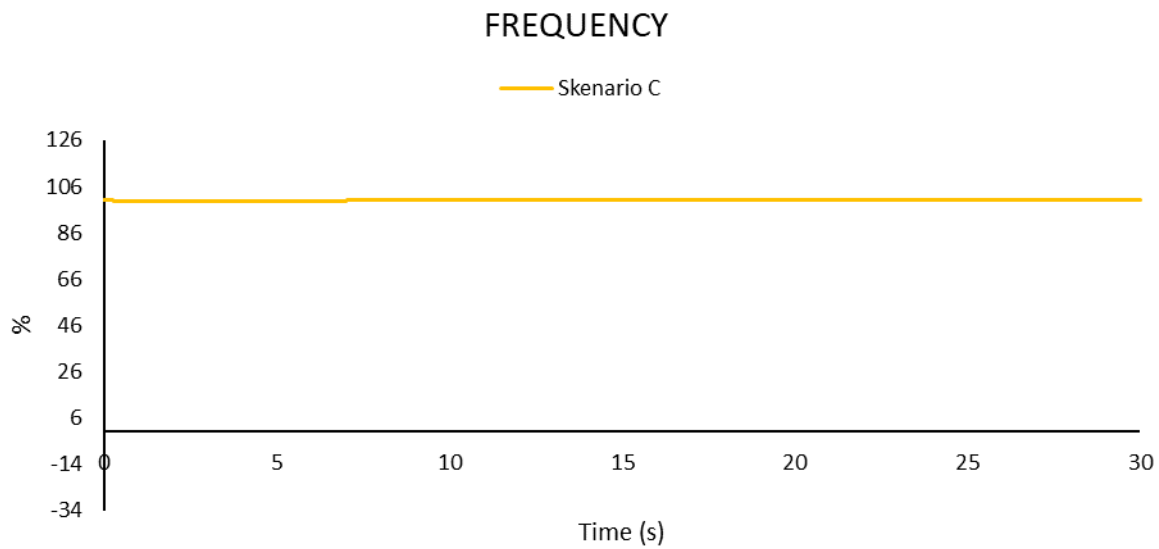




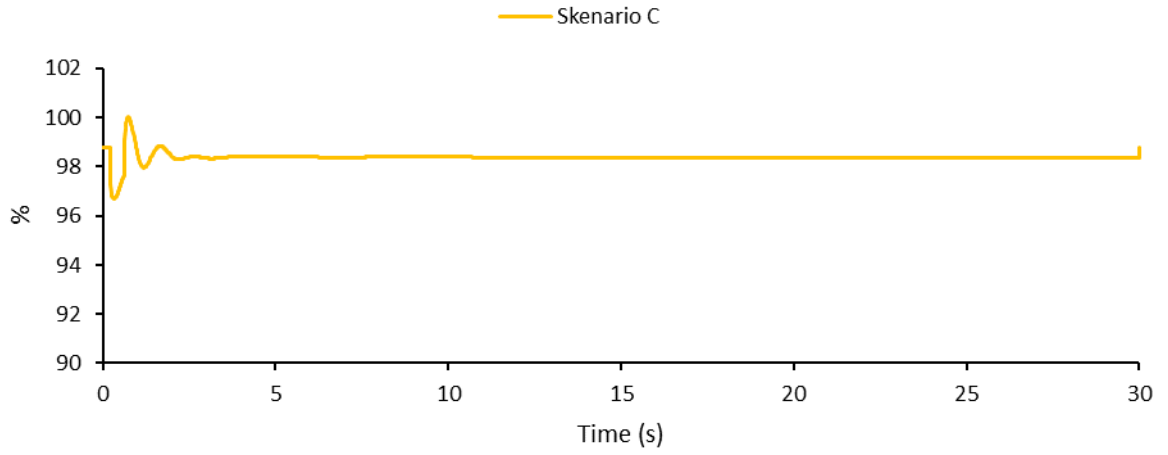




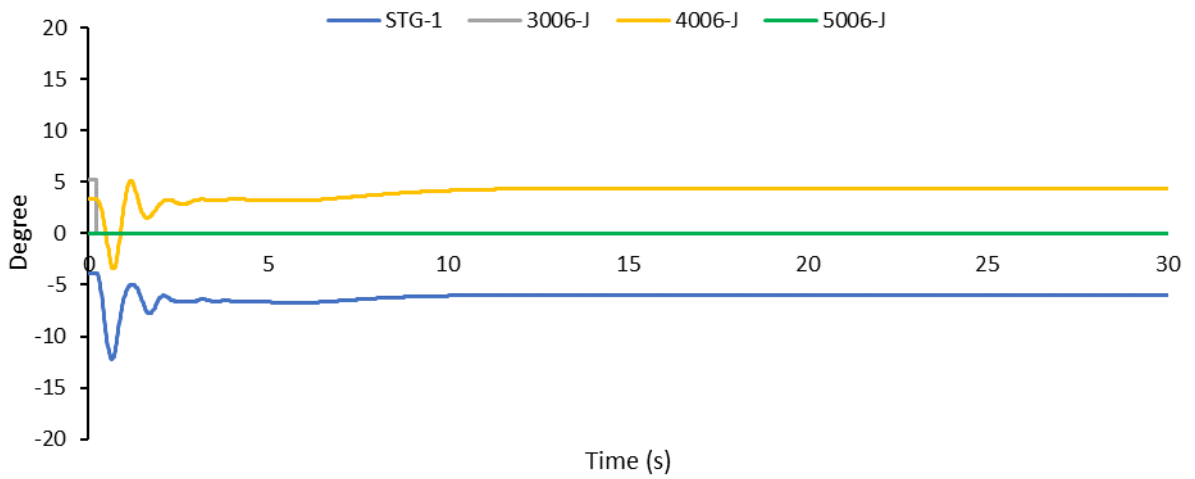
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P2 Off, Generator P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



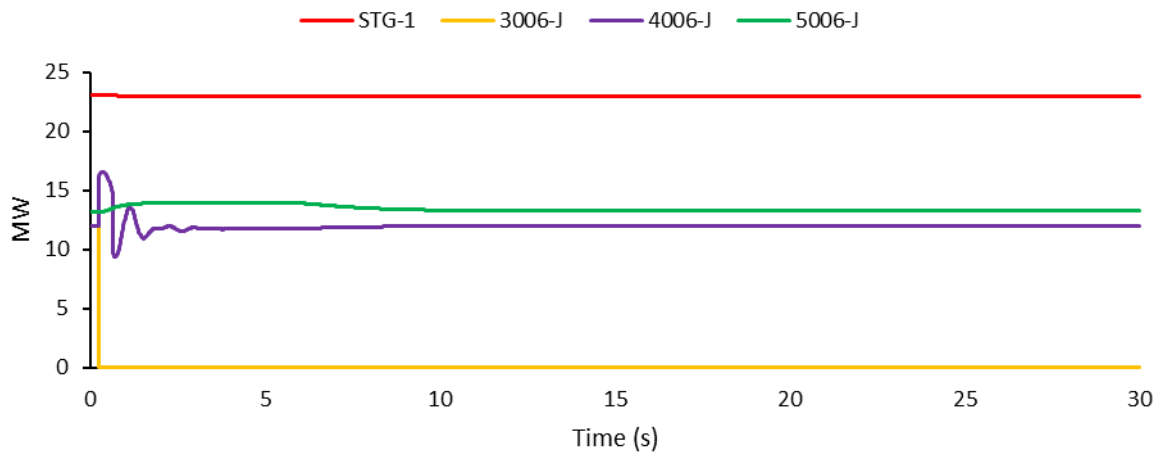
### VOLTAGE



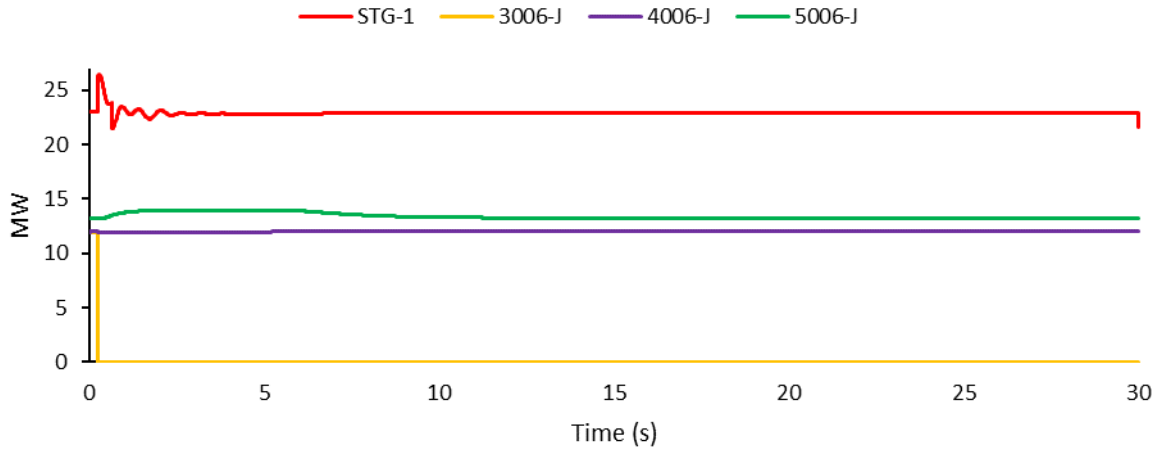
### POWER ANGLE (SKENARIO C)



### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)

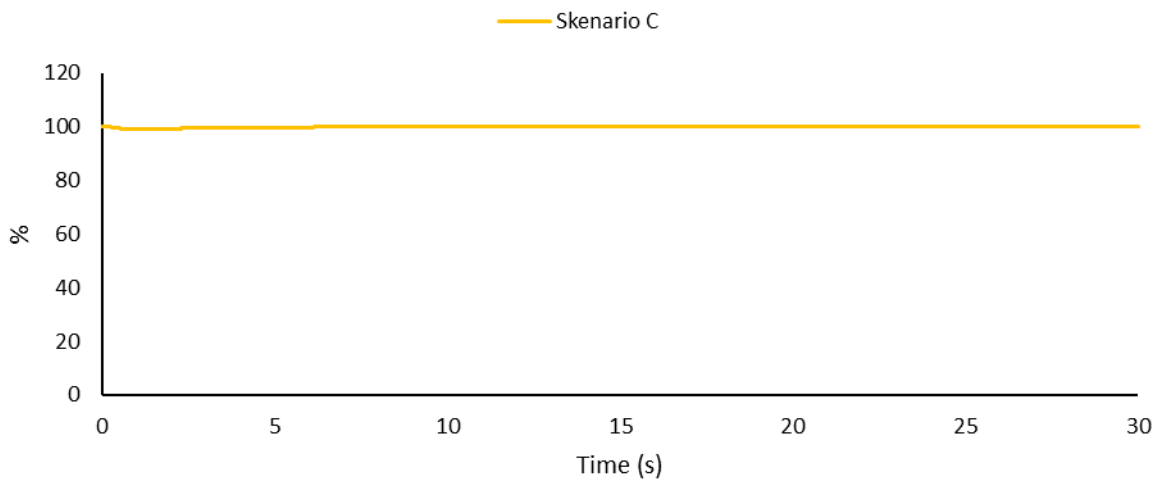


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO C)

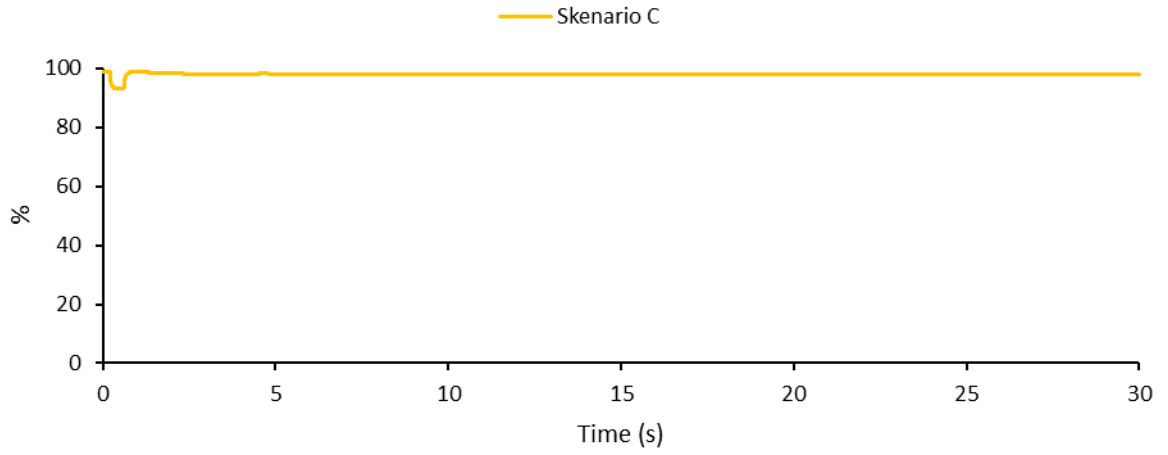


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P2 Off, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*

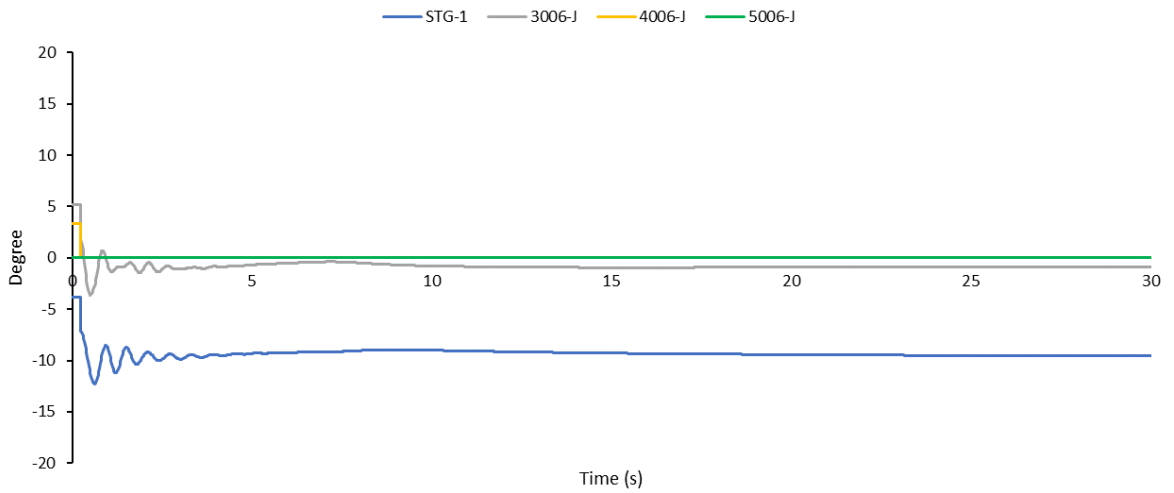
### FREQUENCY



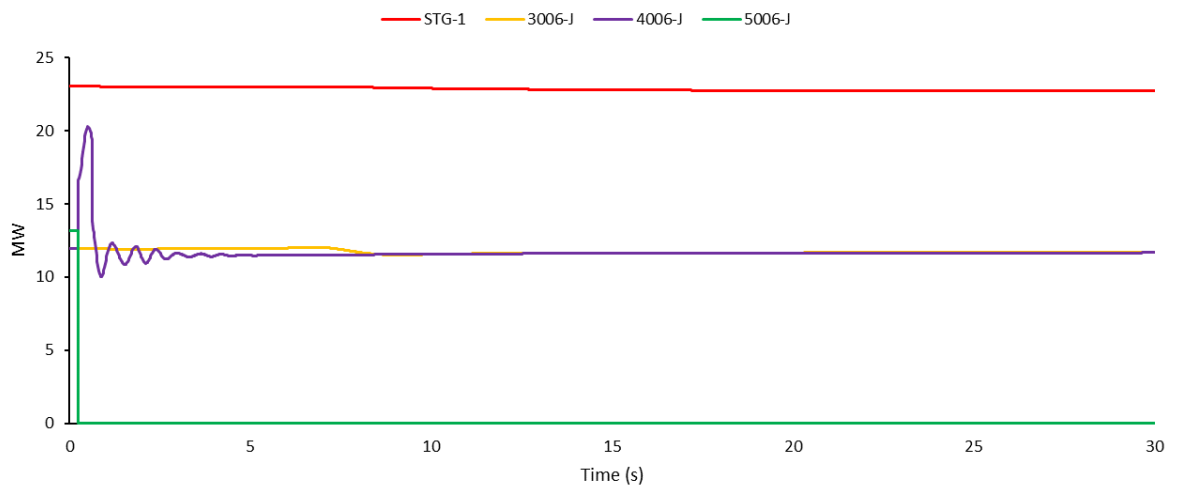
## VOLTAGE

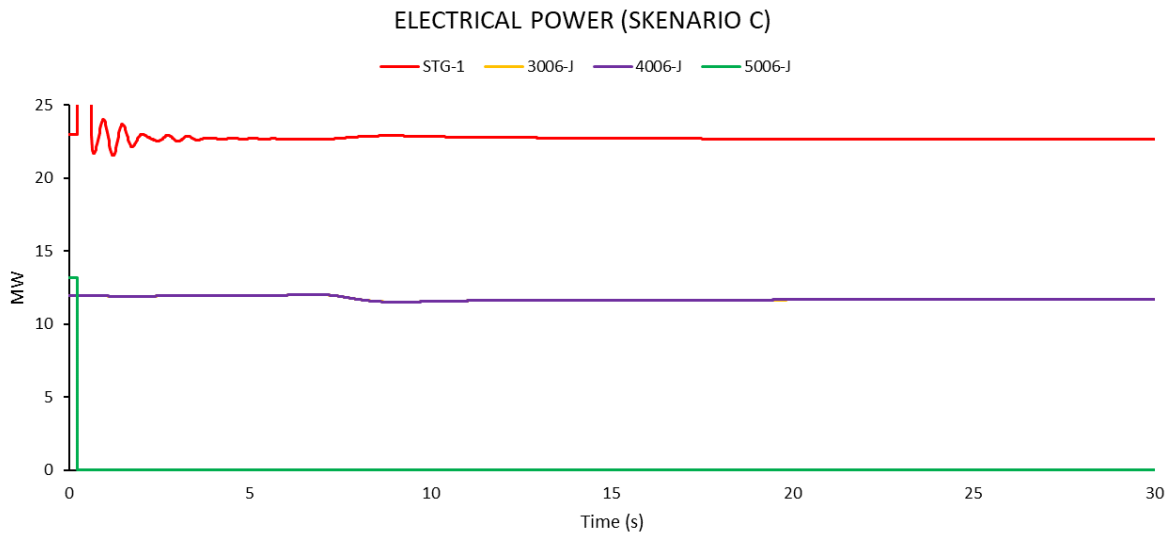


## POWER ANGLE (SKENARIO C)

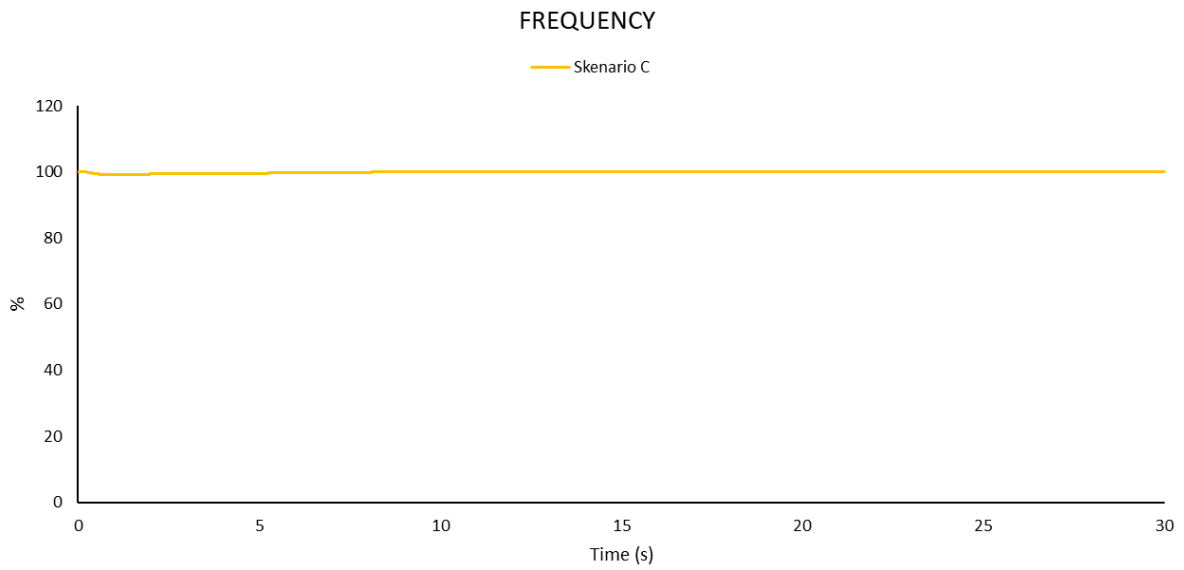


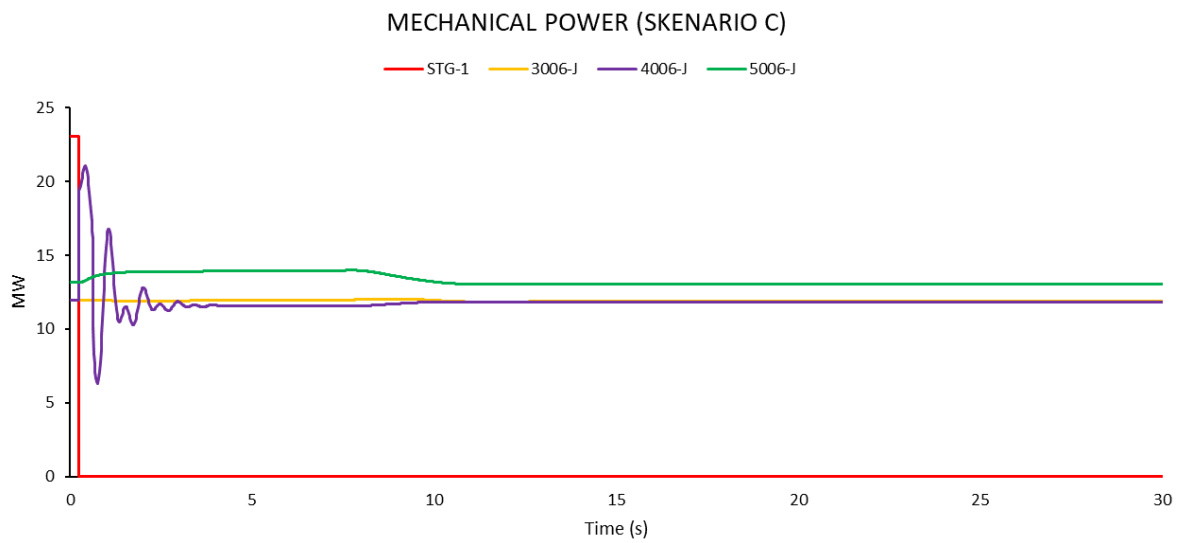
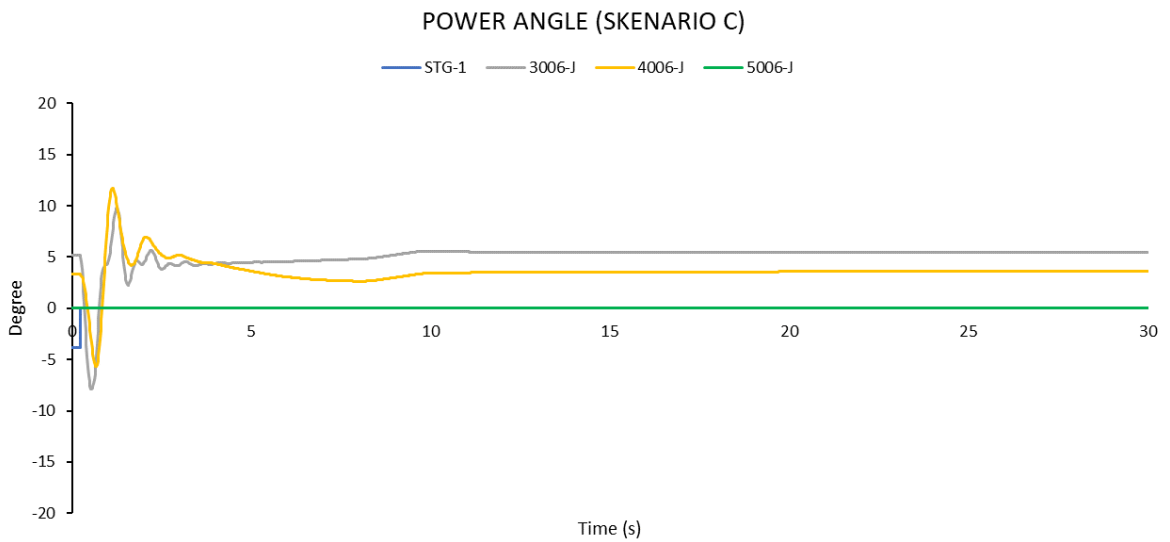
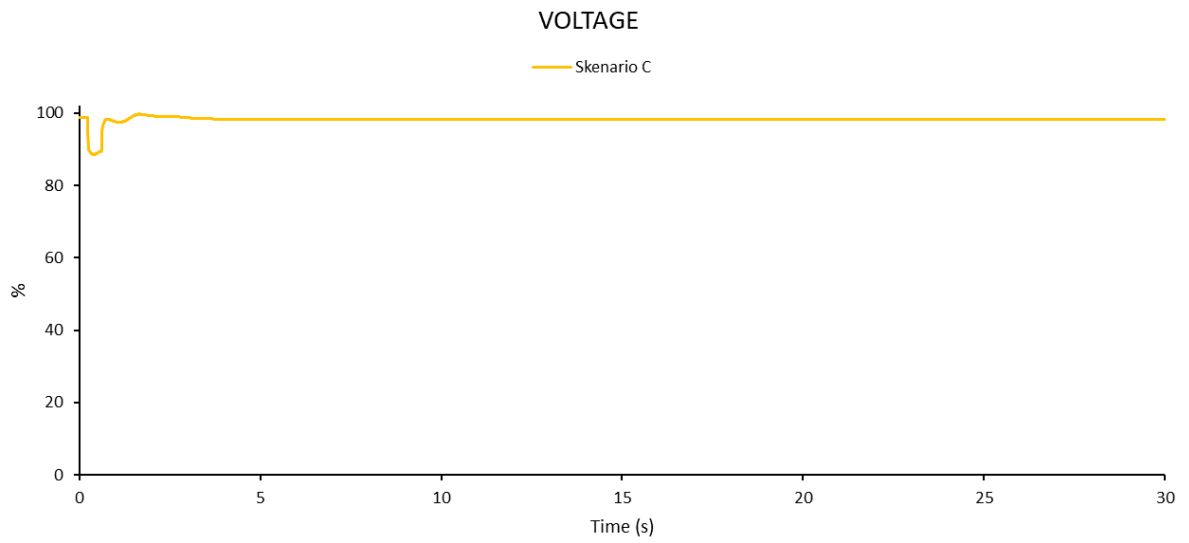
## MECHANICAL POWER (SKENARIO C)

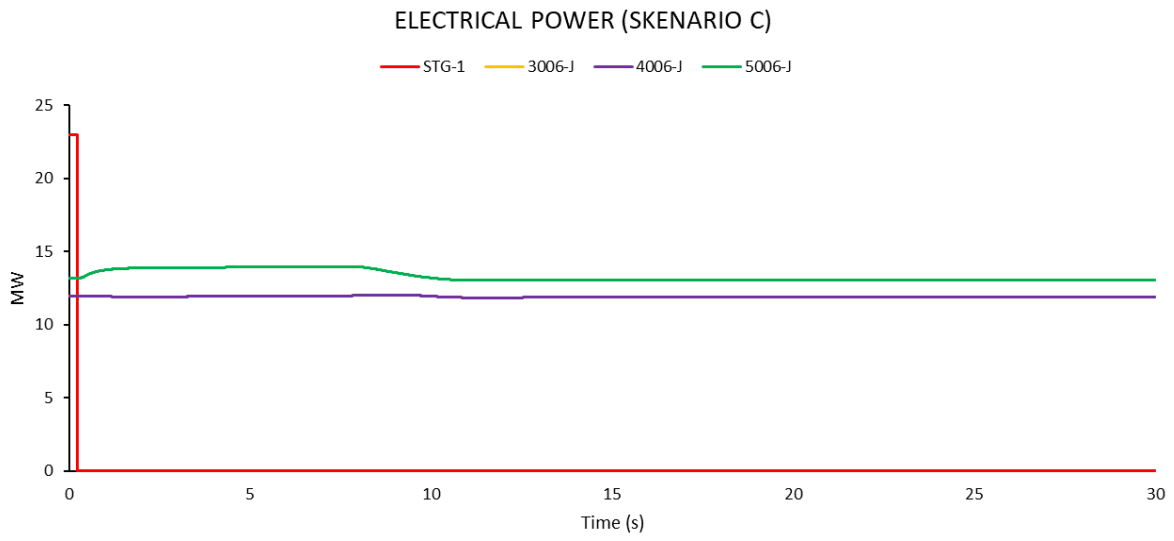




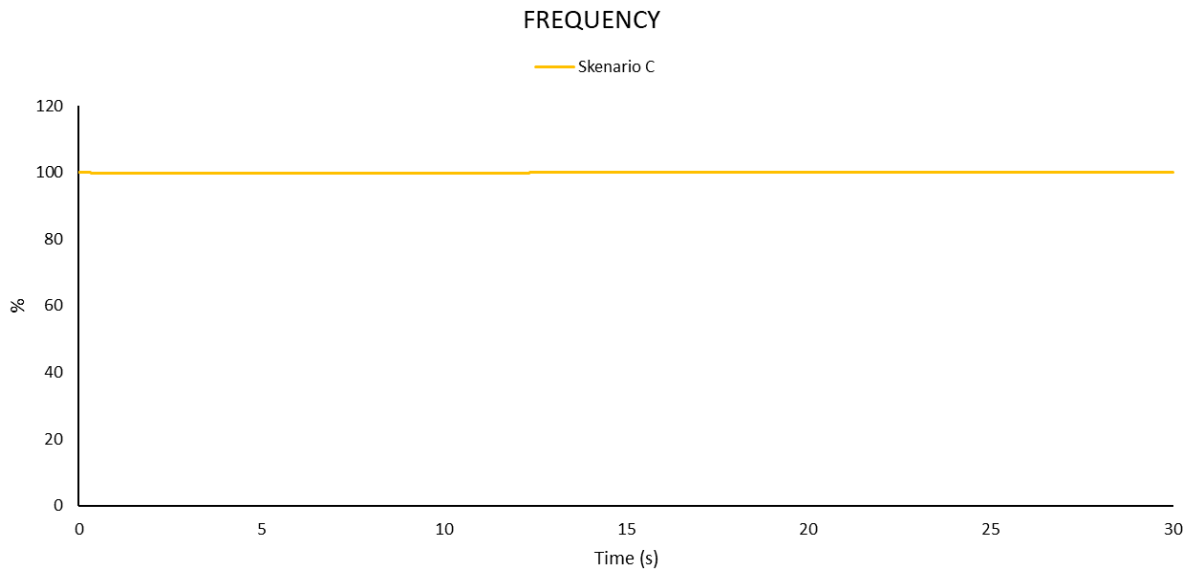
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P2 Off, Generator STG Outage dari Sistem (t=0.225s)*

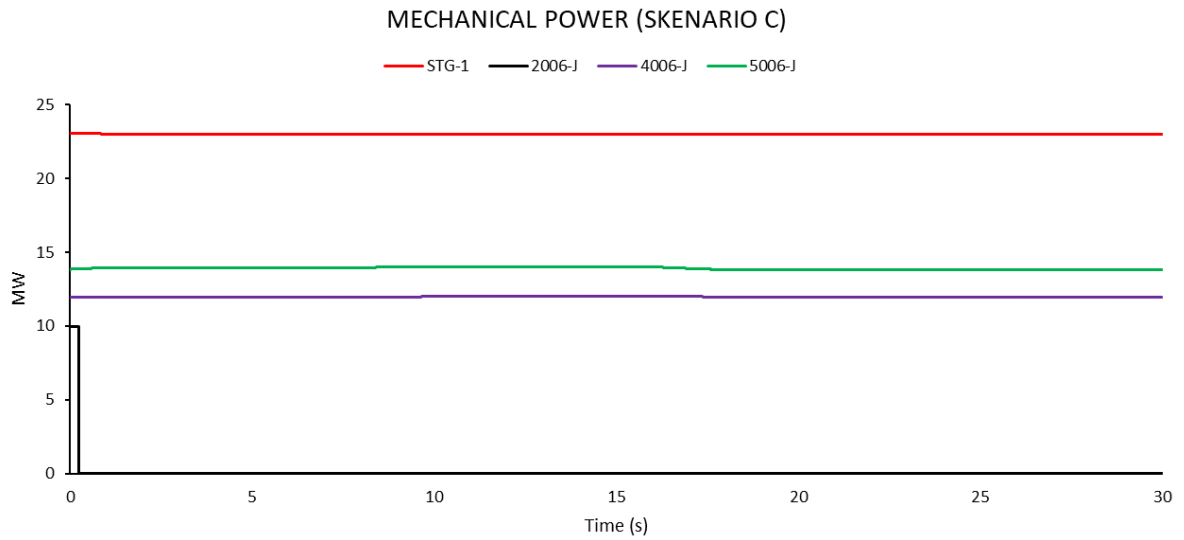
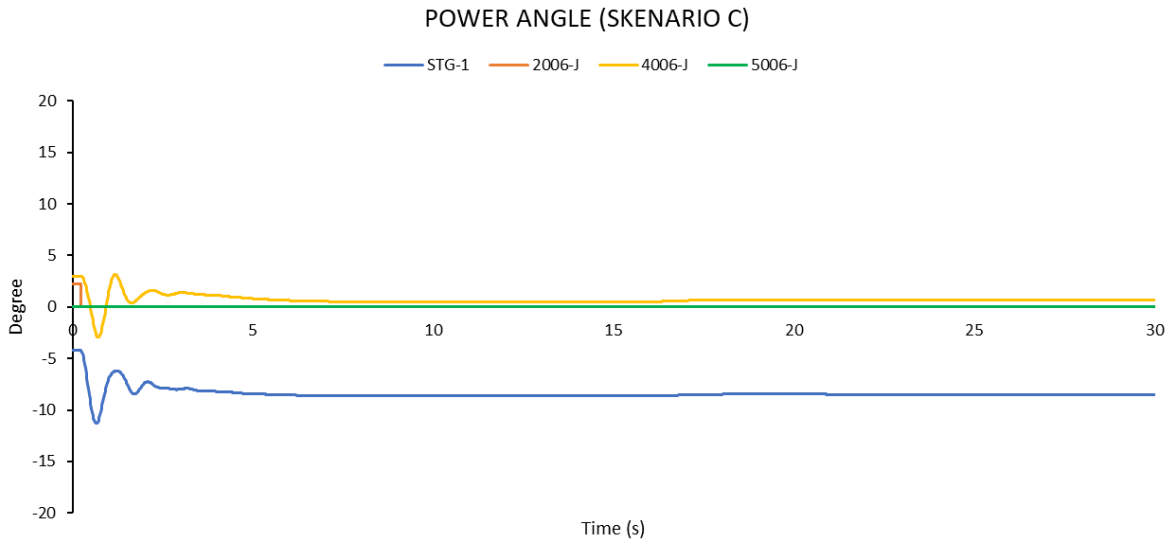
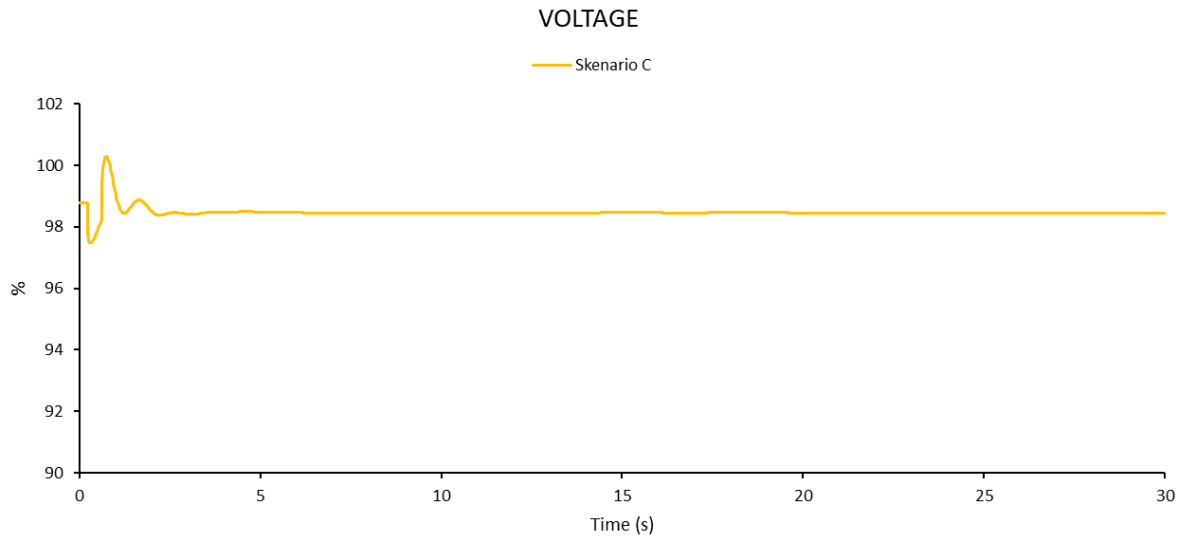




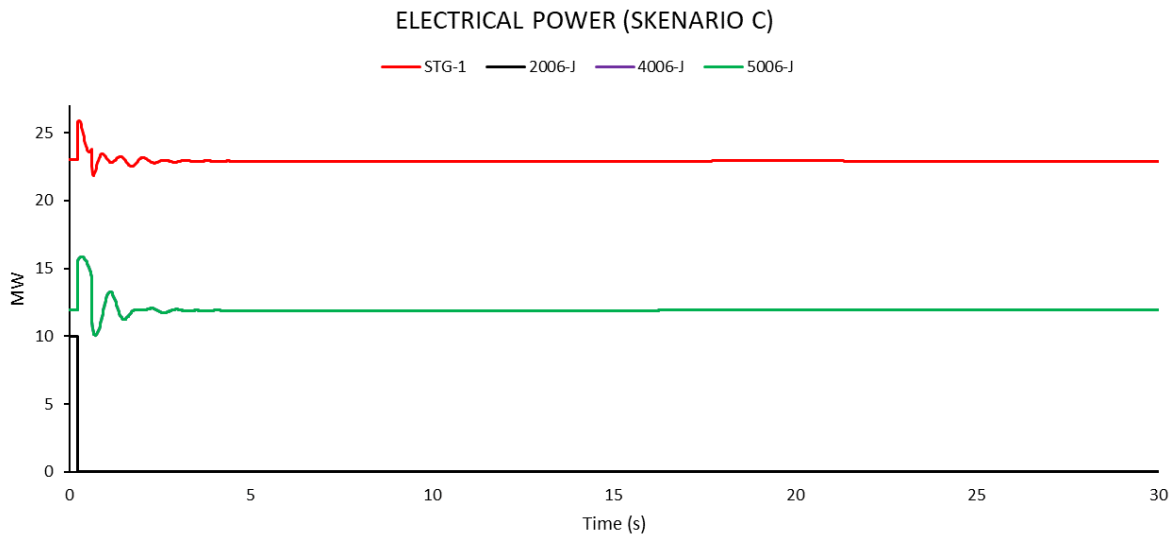


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P3 Off, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

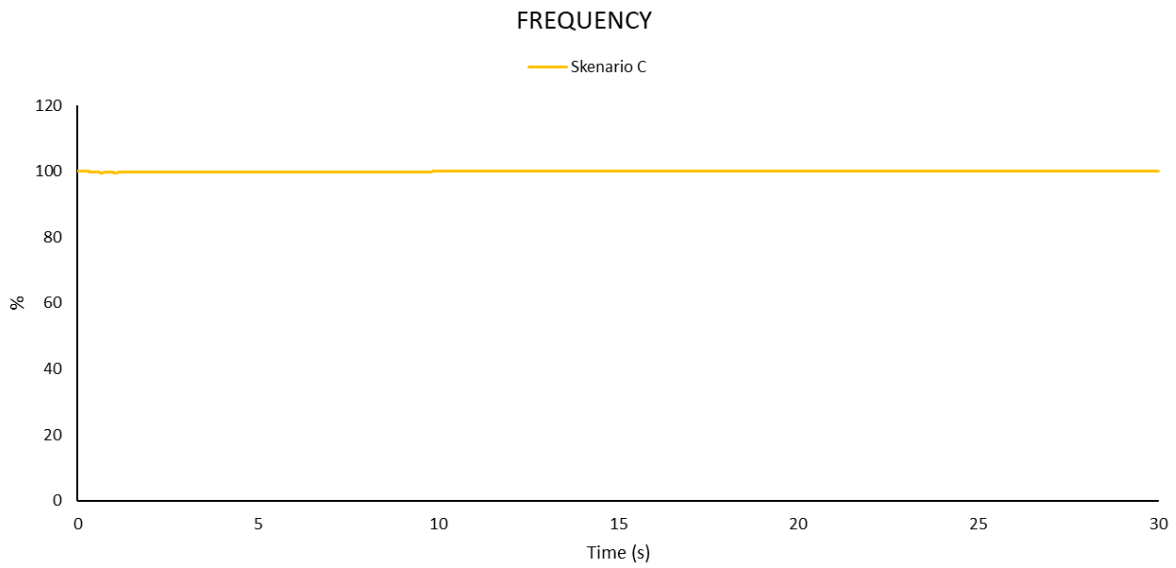


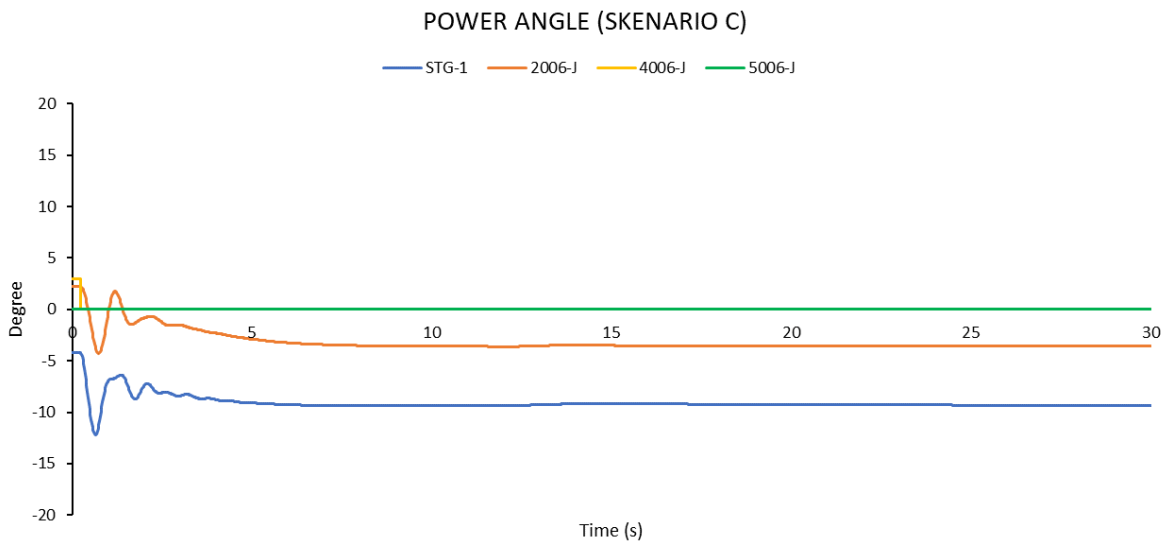
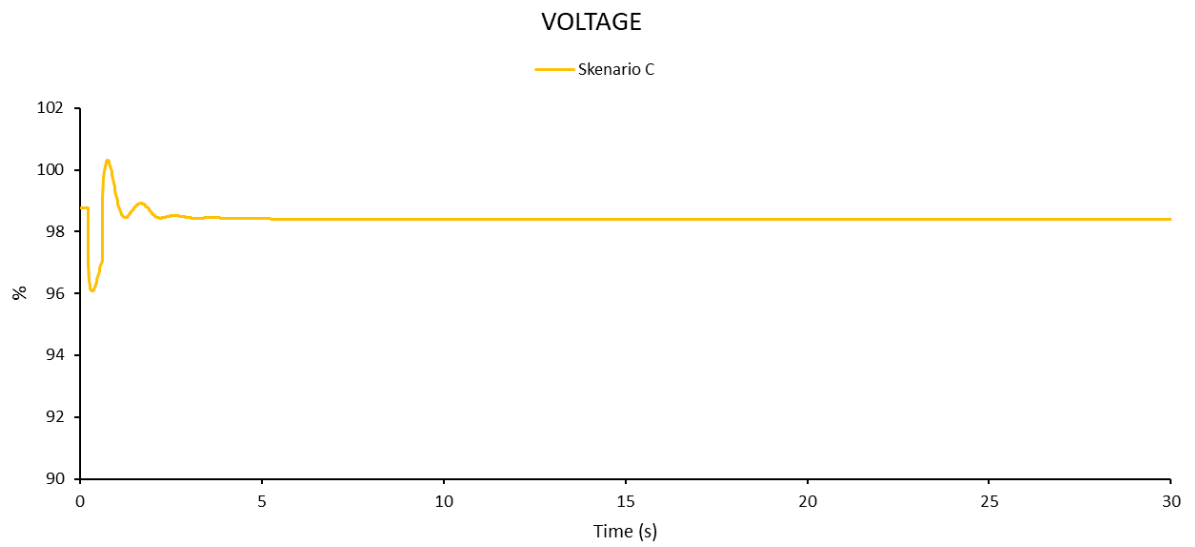






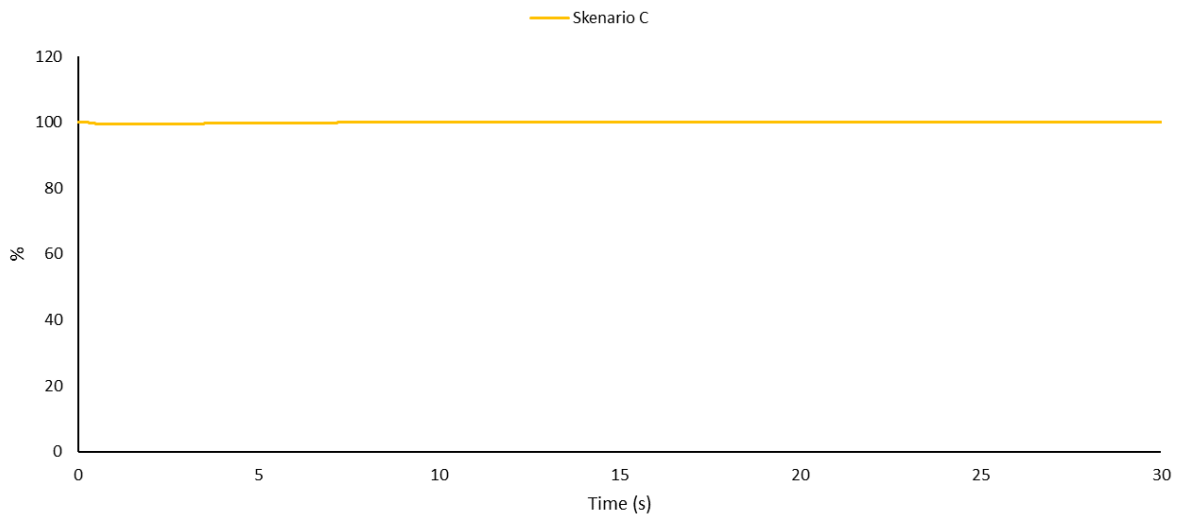
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P3 Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



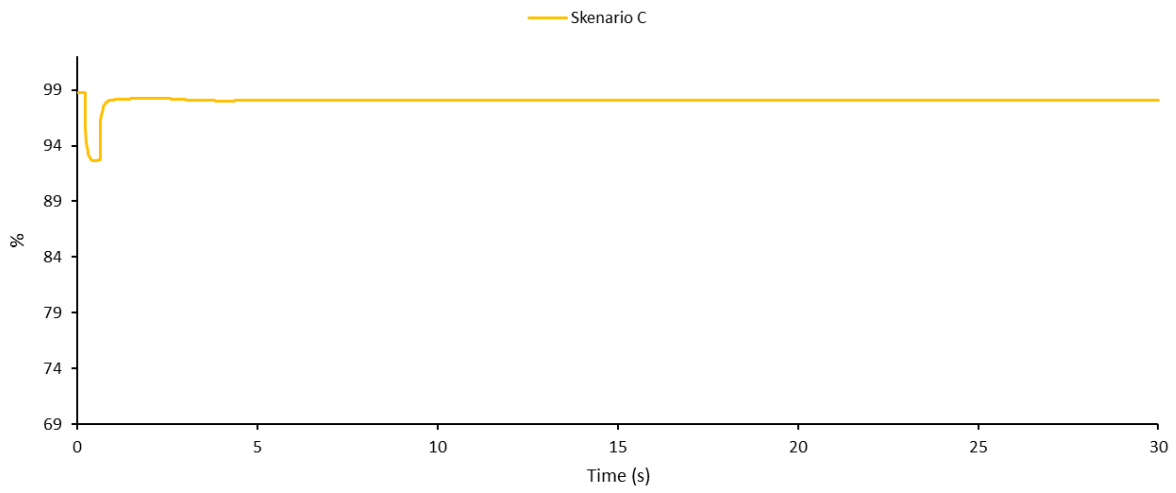


- **Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P3 Off, Generator P1B Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )**

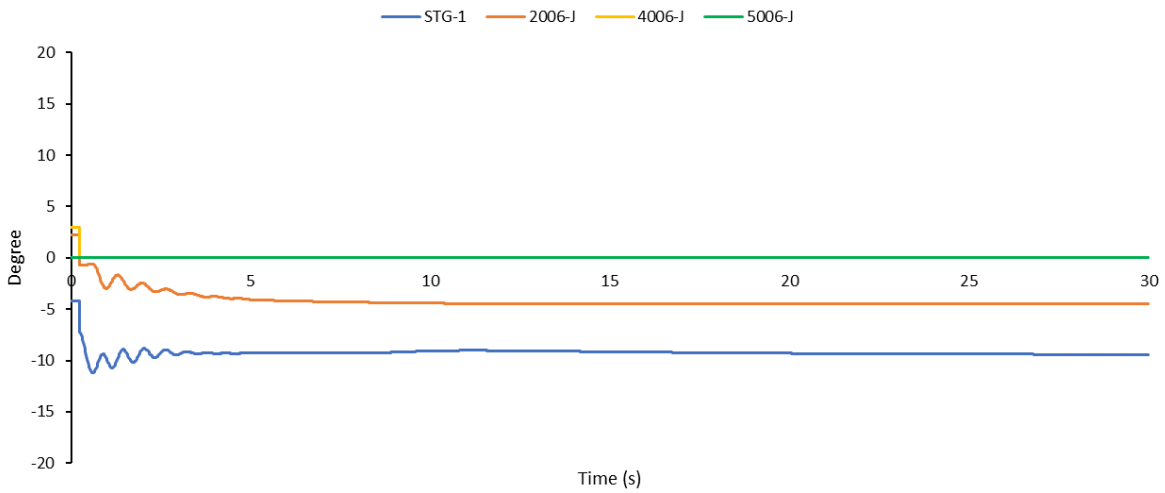
### FREQUENCY

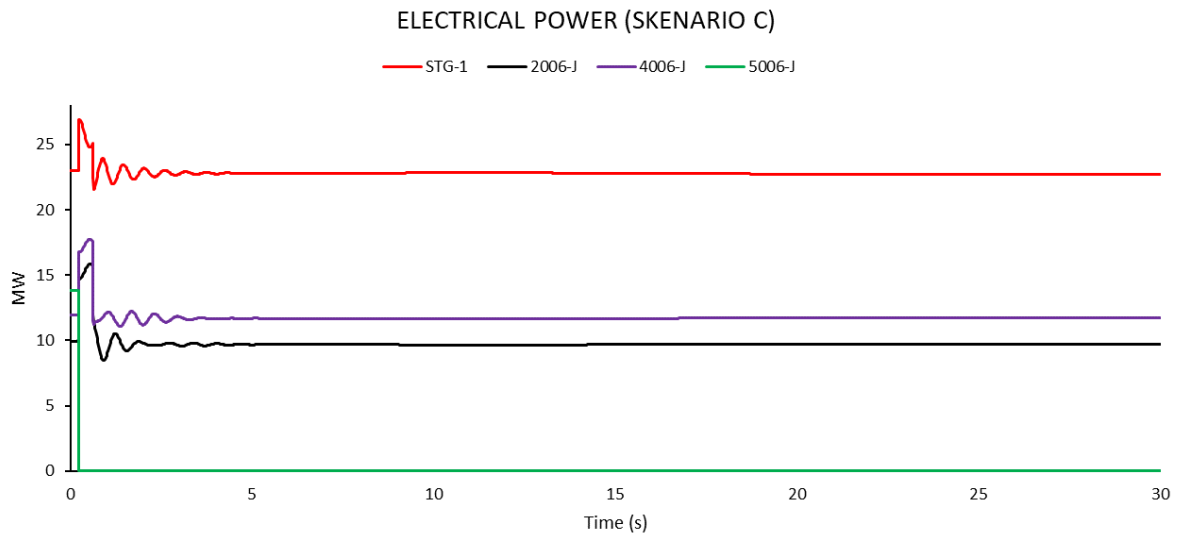
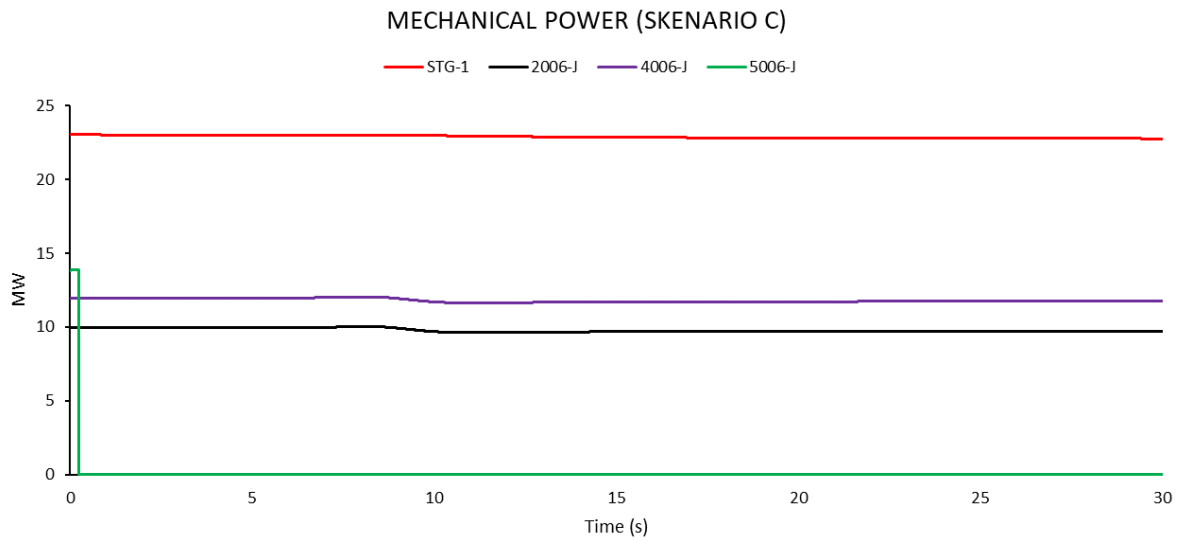


### VOLTAGE



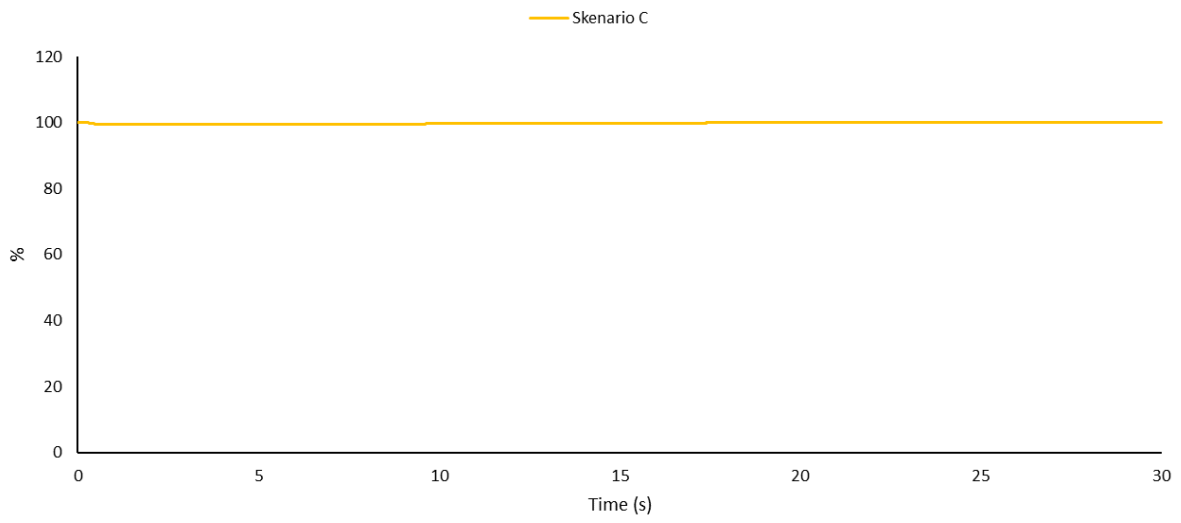
### POWER ANGLE (SKENARIO C)



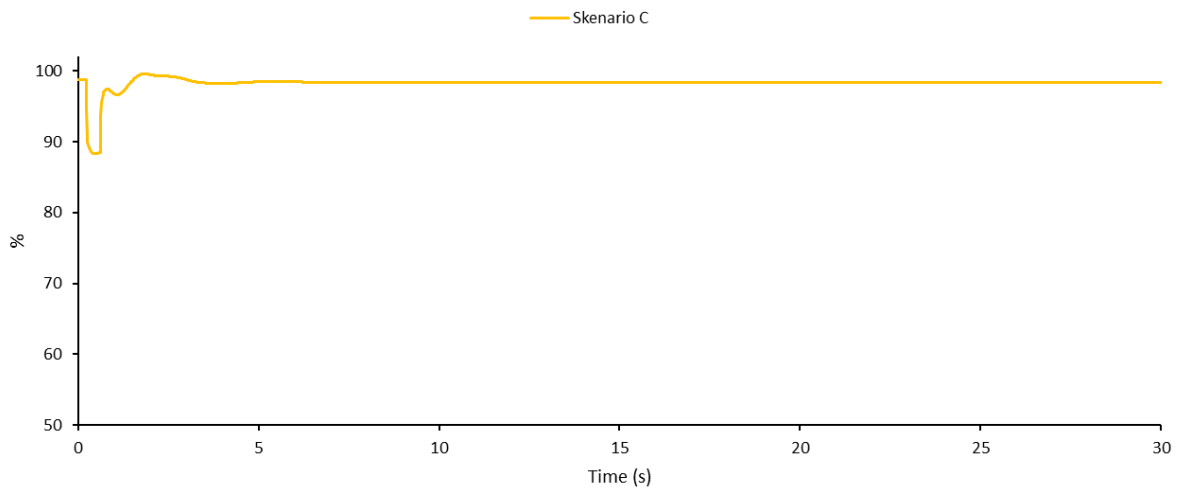


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P3 Off, Generator STG Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

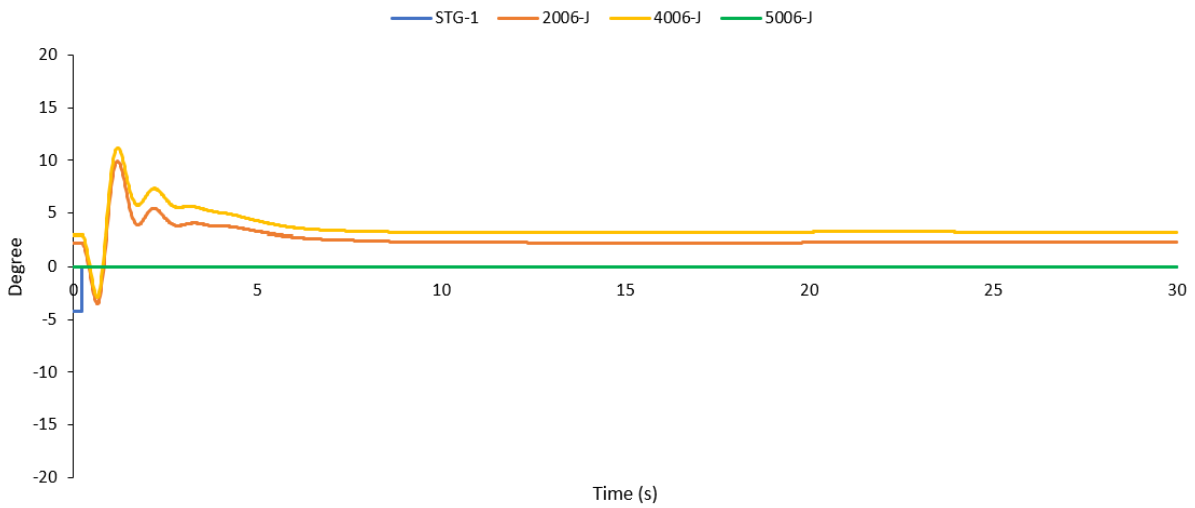
### FREQUENCY

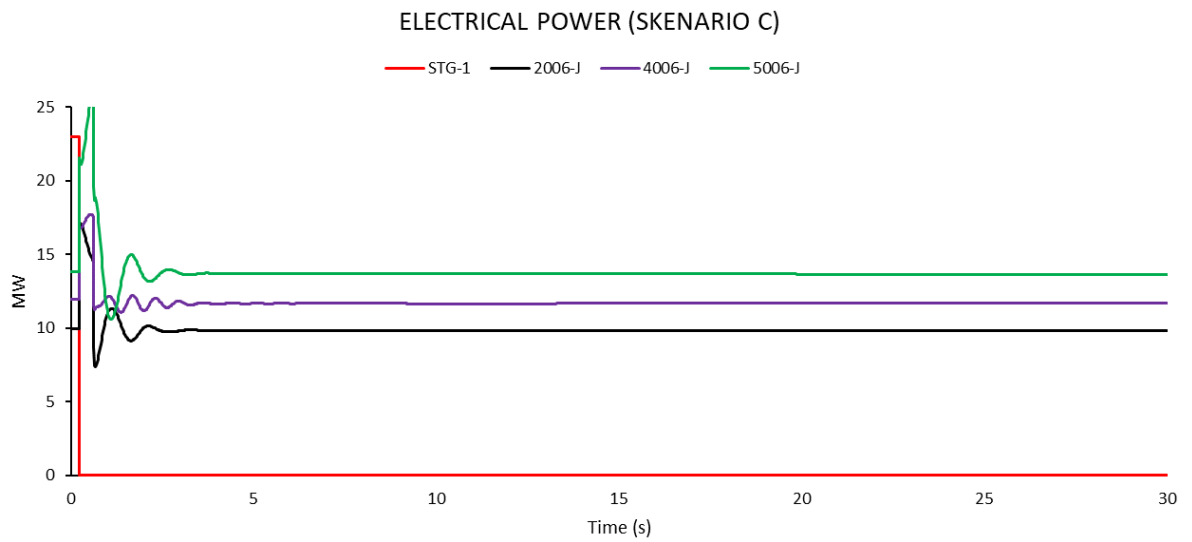
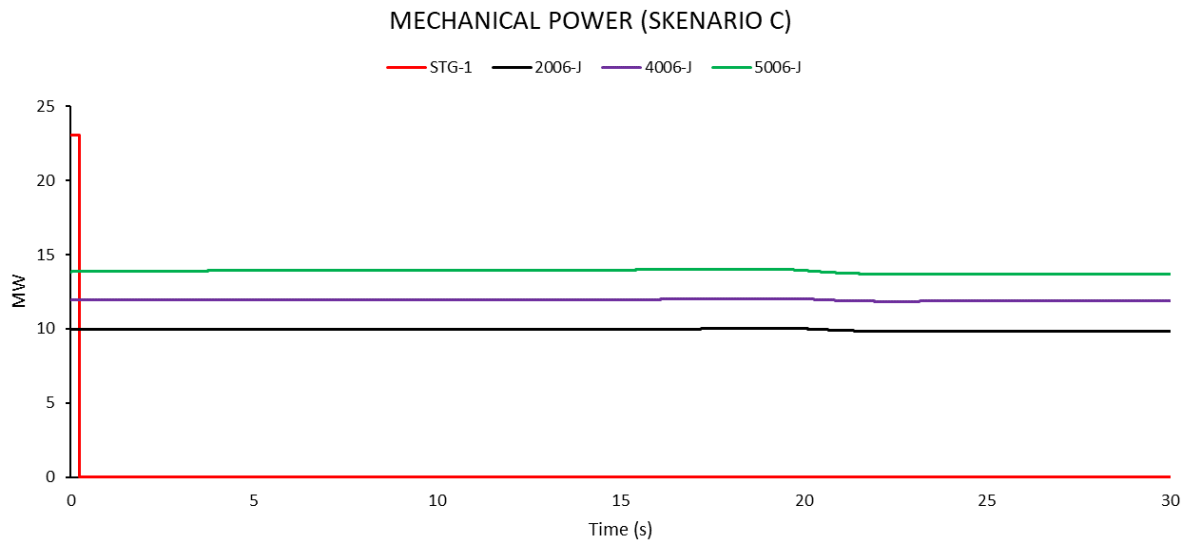


### VOLTAGE



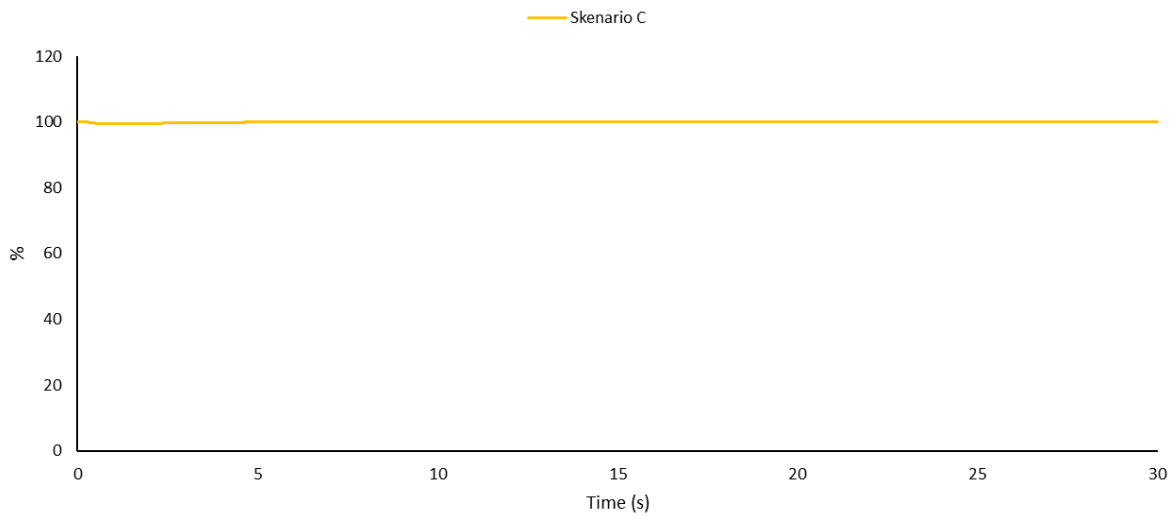
### POWER ANGLE (SKENARIO C)



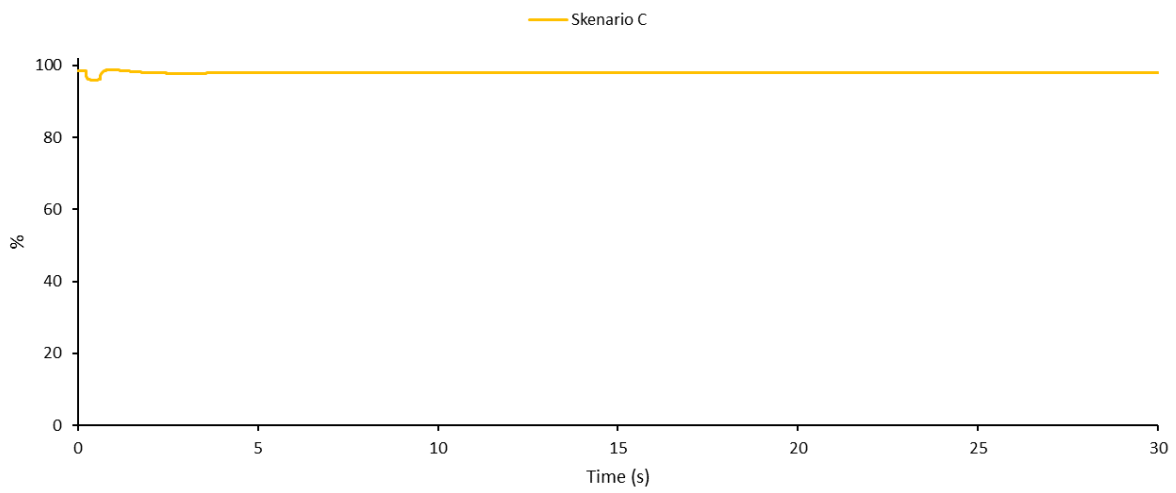


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi P1B Off, Generator P2 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

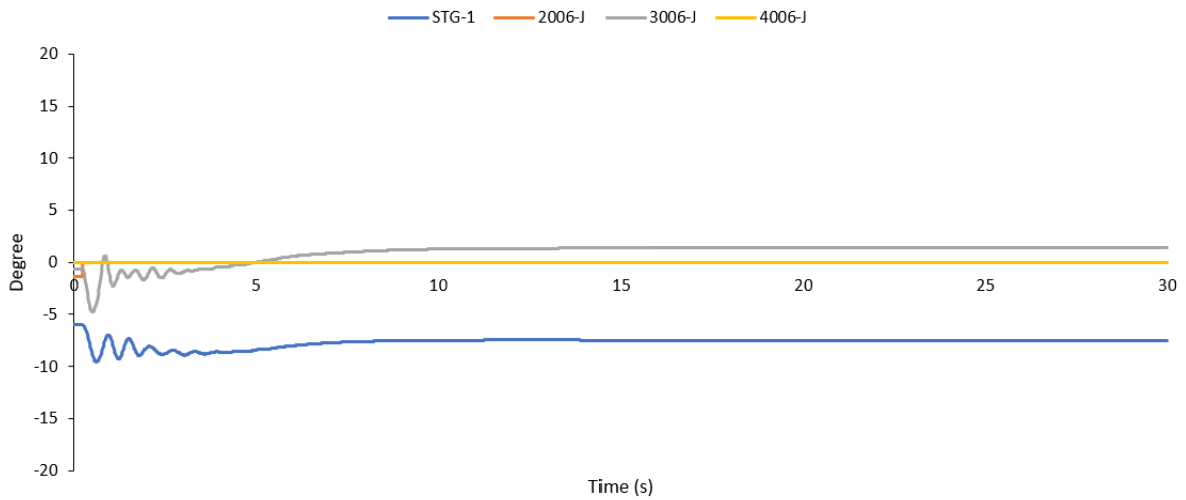
### FREQUENCY

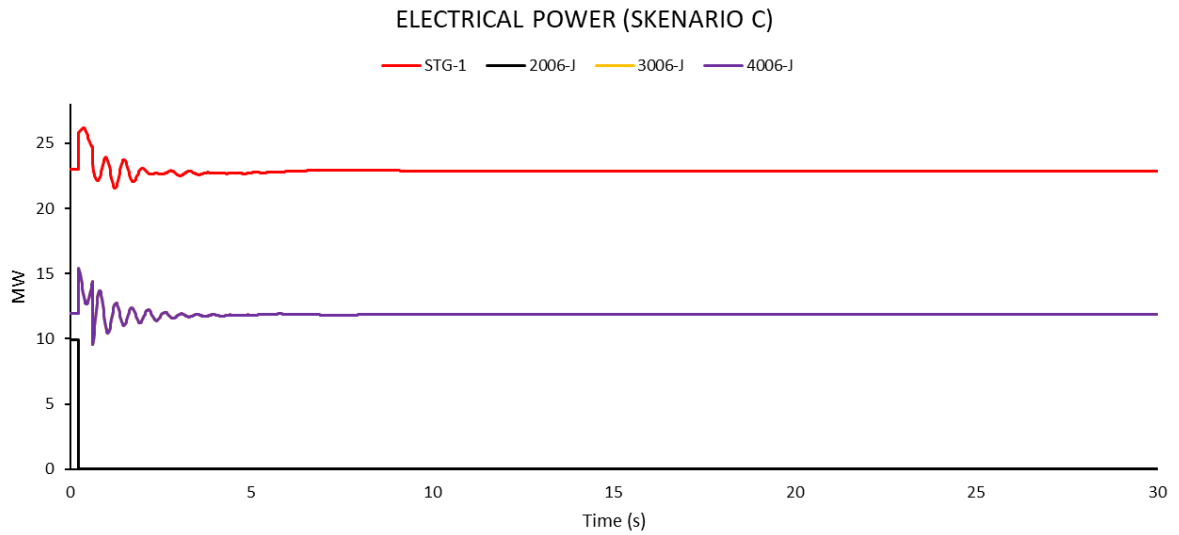
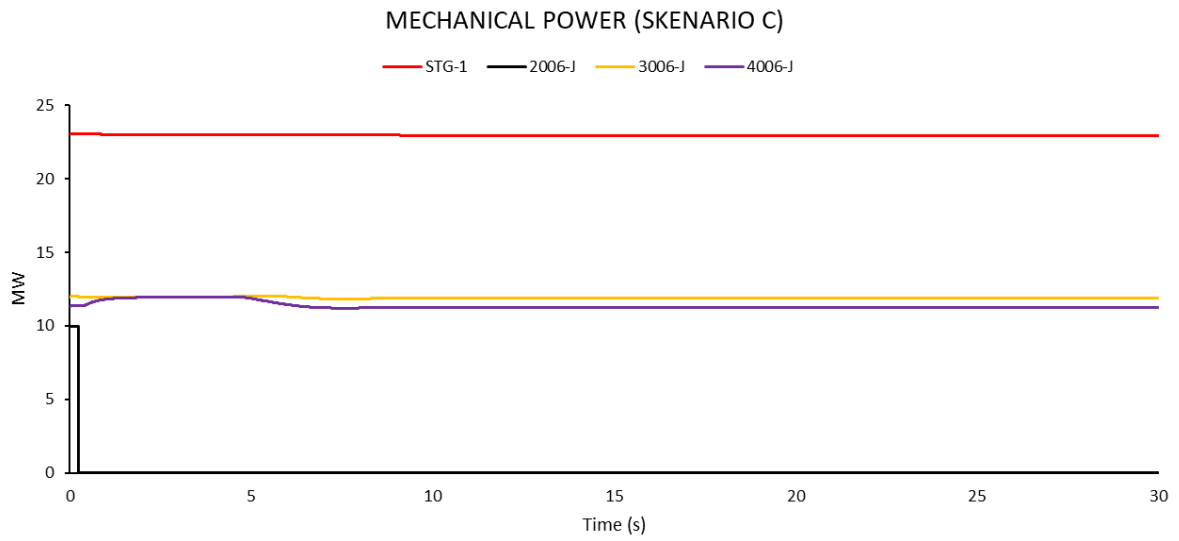


### VOLTAGE



### POWER ANGLE (SKENARIO C)

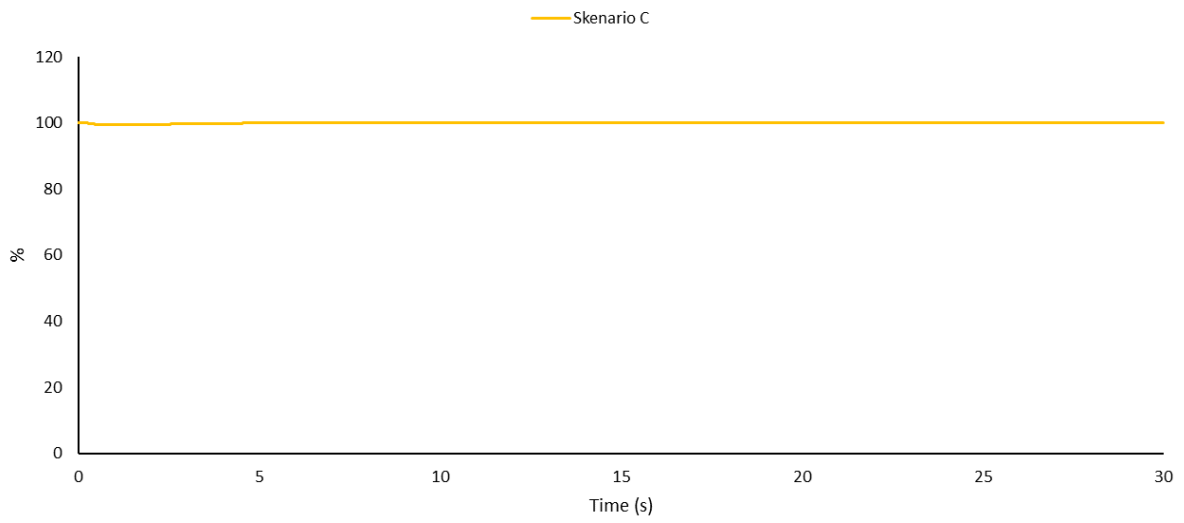




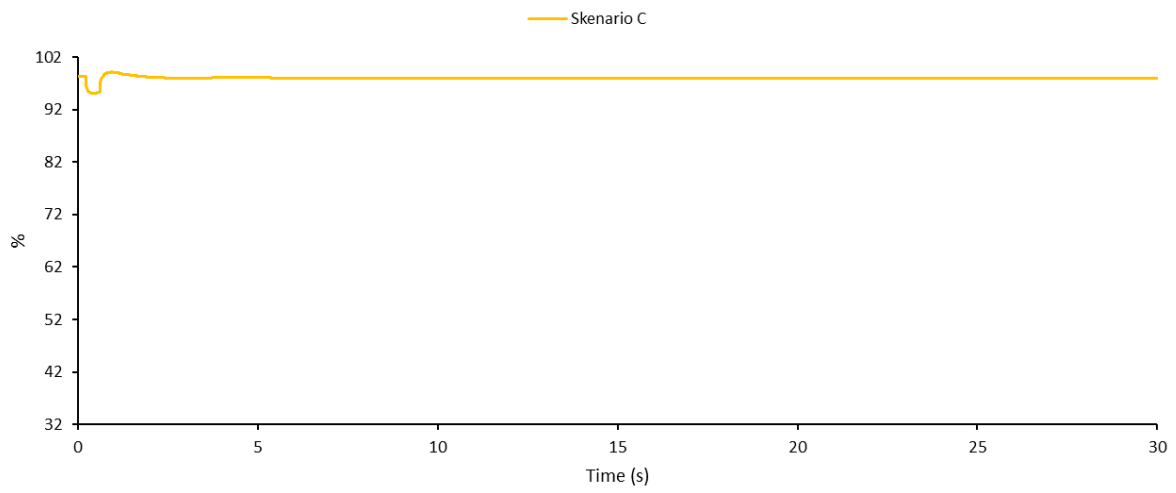
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi PIB Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



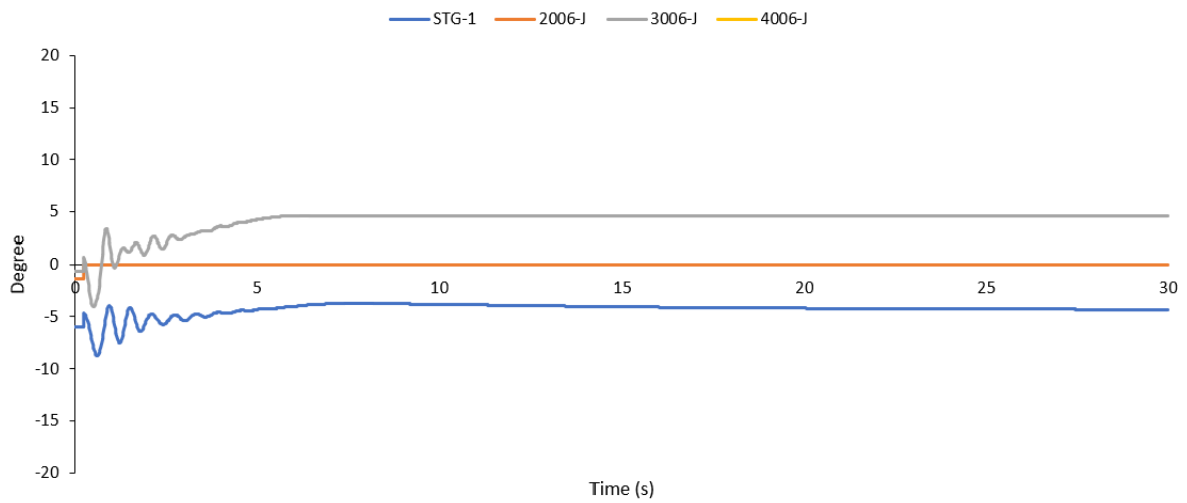
### FREQUENCY

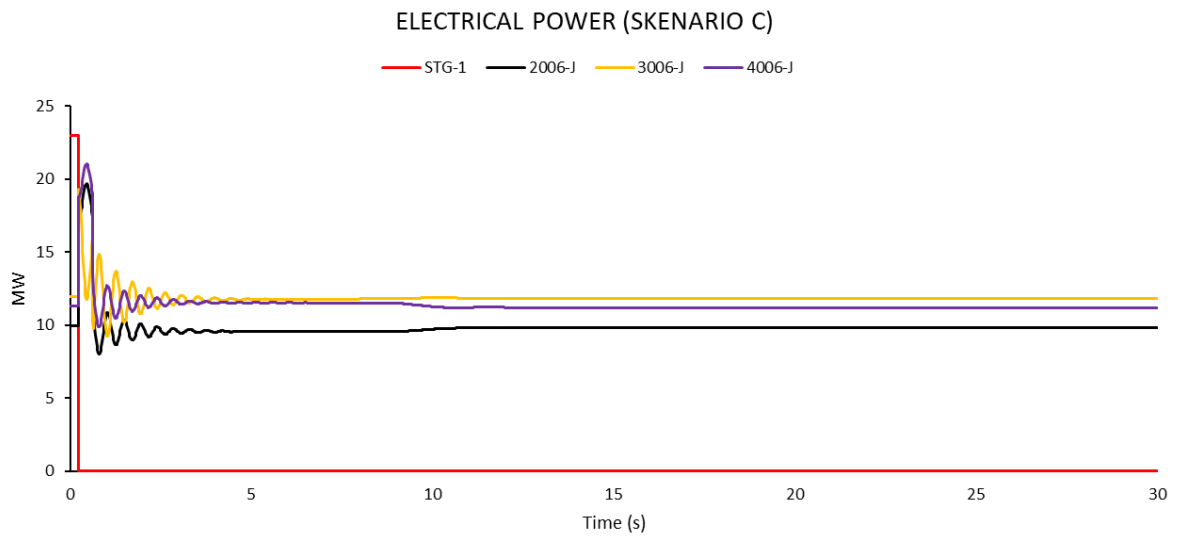
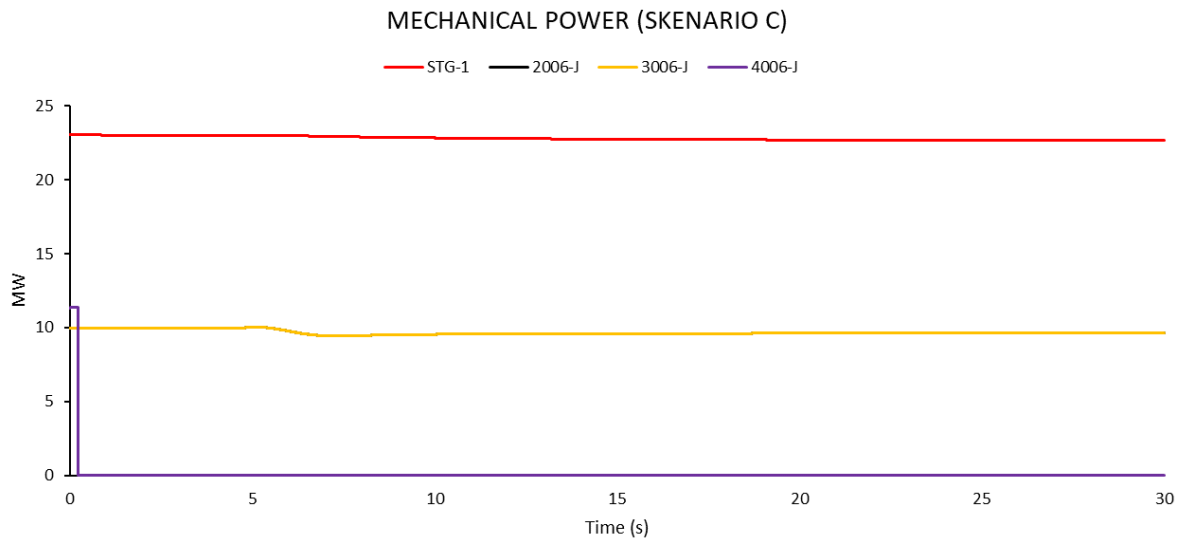


### VOLTAGE



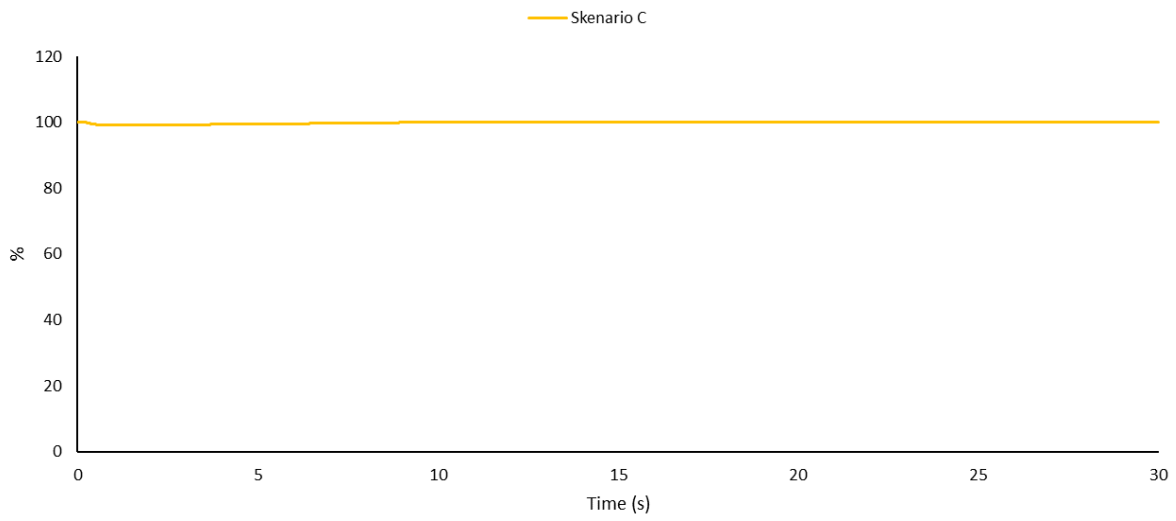
### POWER ANGLE (SKENARIO C)



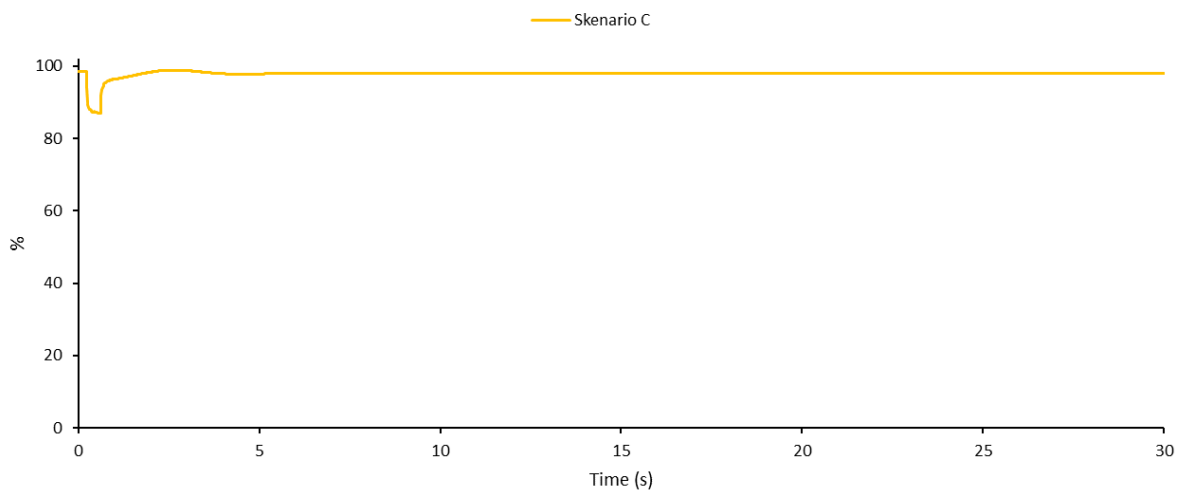


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi PIB Off, Generator STG Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

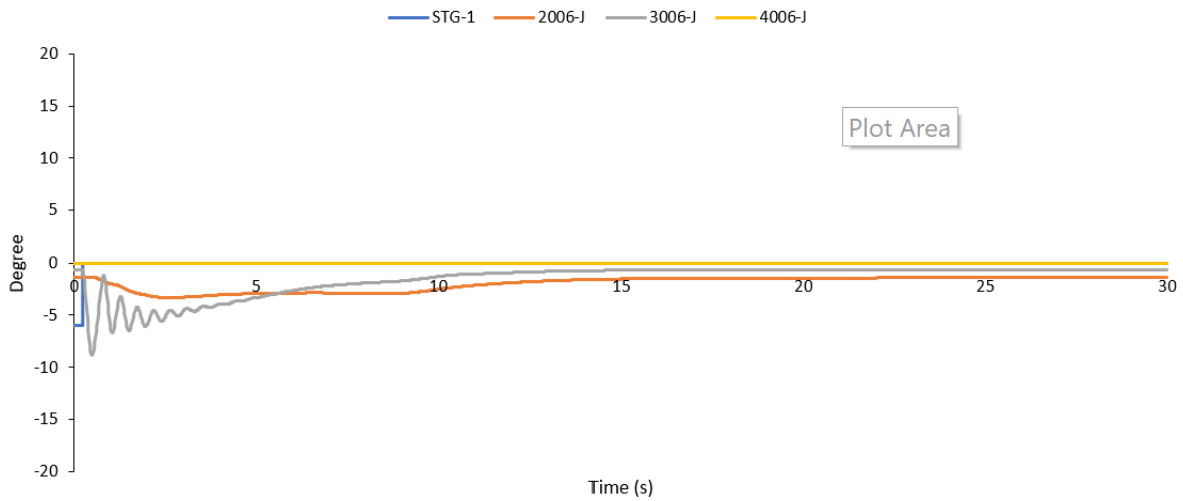
### FREQUENCY

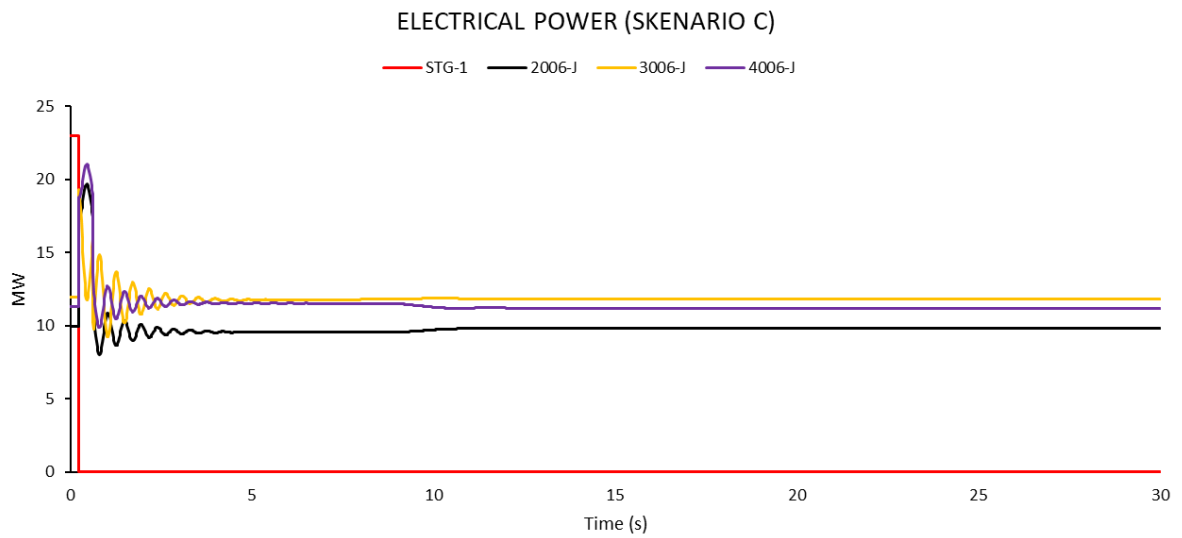
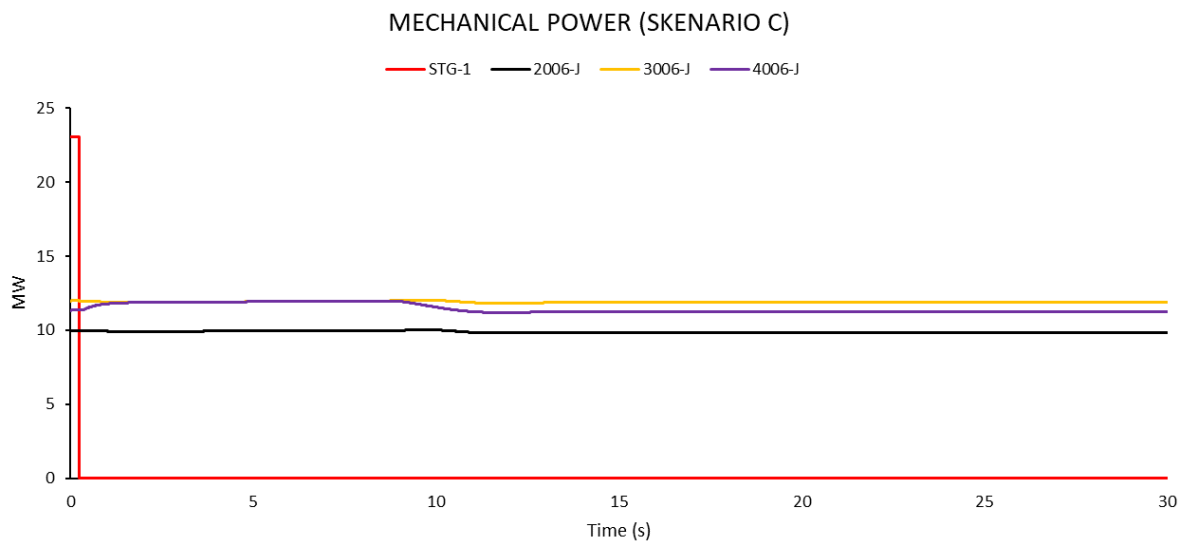


### VOLTAGE



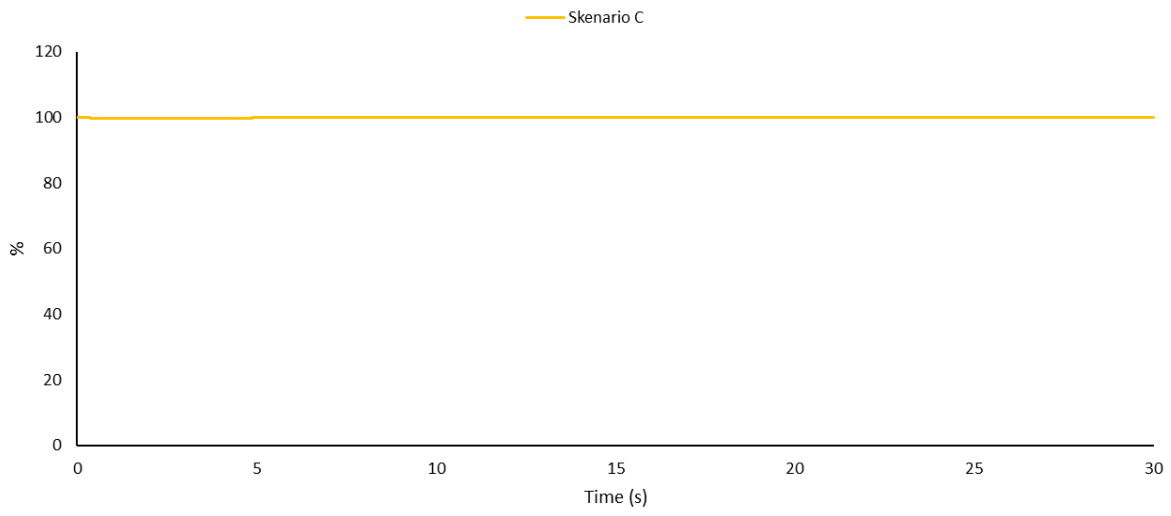
### POWER ANGLE (SKENARIO C)



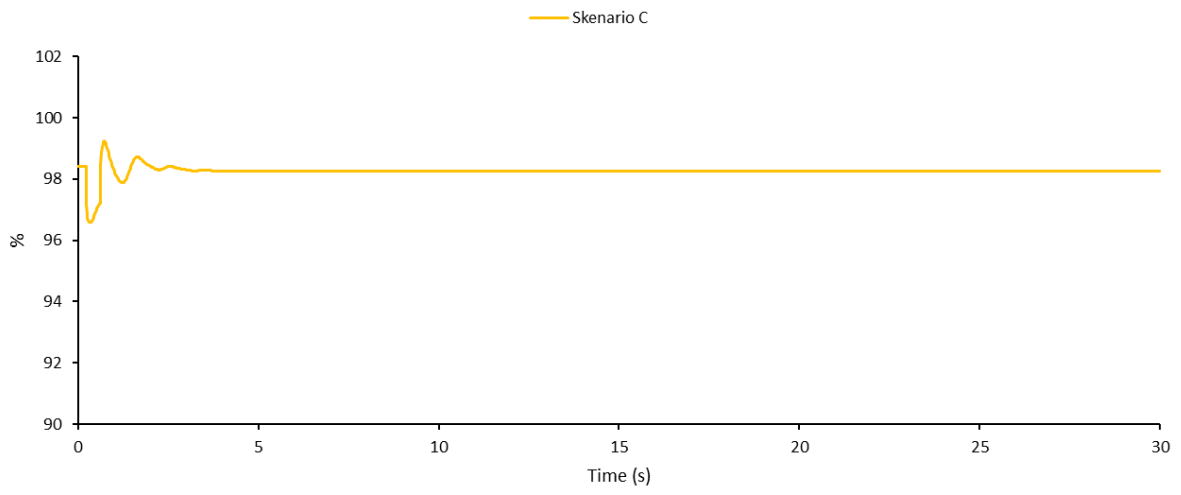


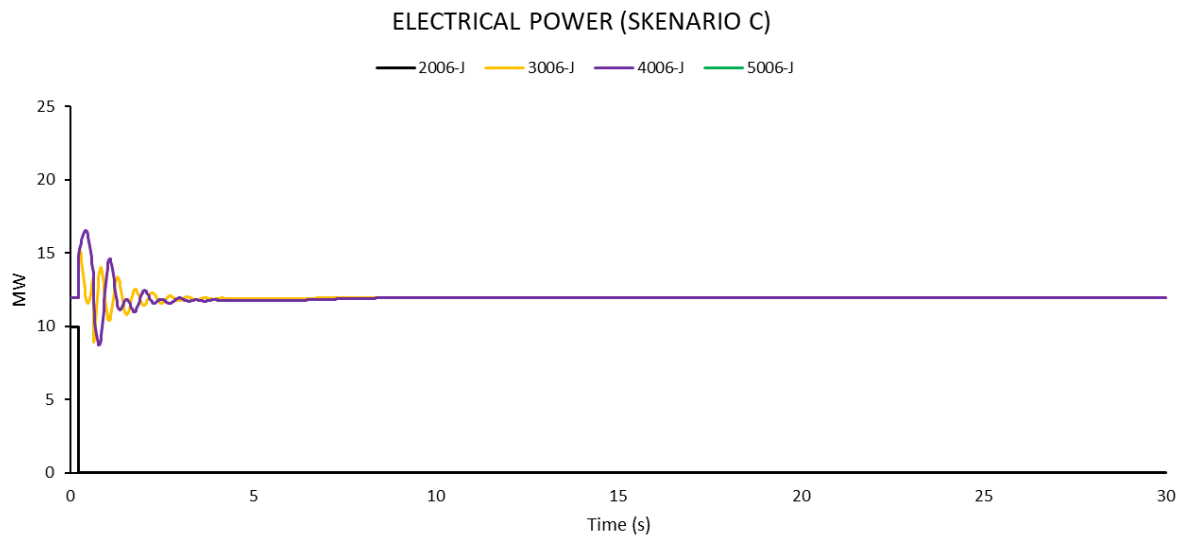
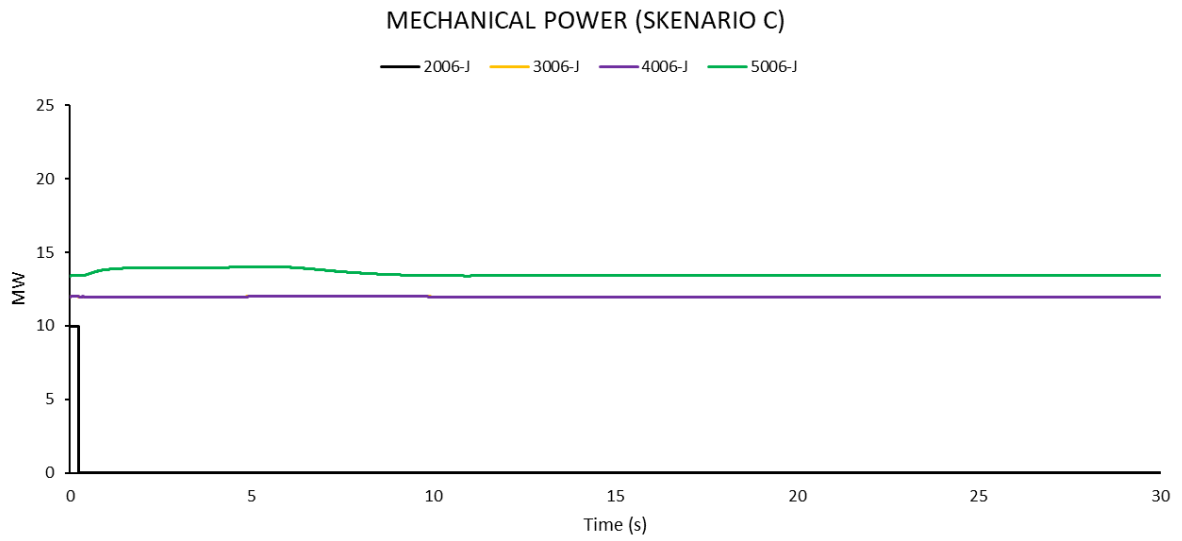
- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi STG Off, Generator P2 Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*

### FREQUENCY



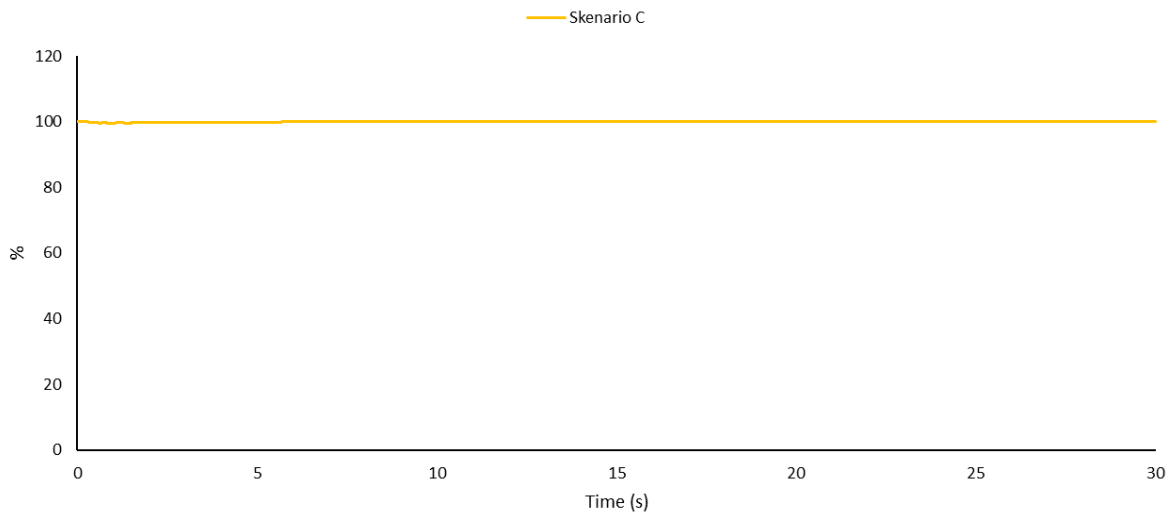
### VOLTAGE



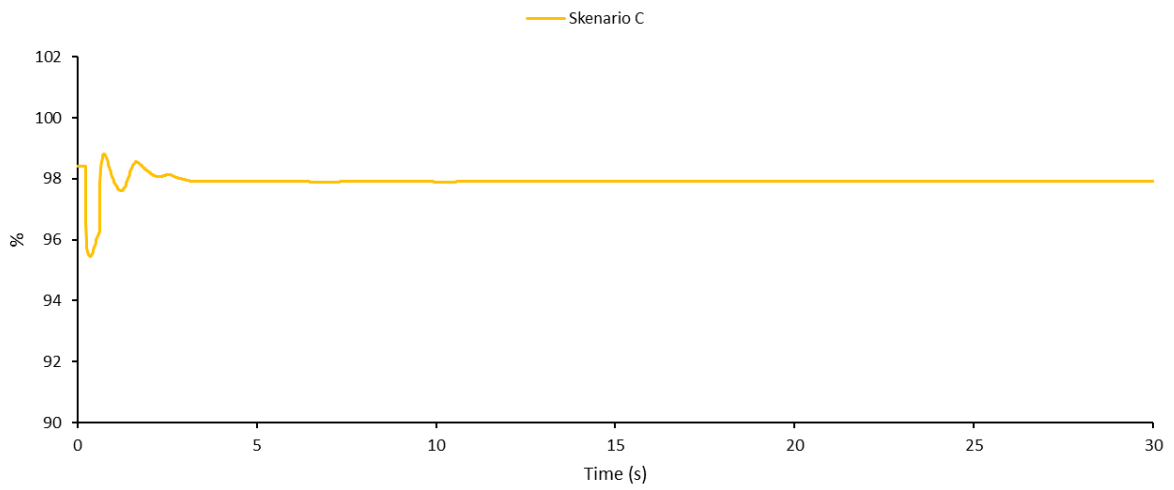


- *Studi Kasus Skenario C Operasi STG Off, Generator P4 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

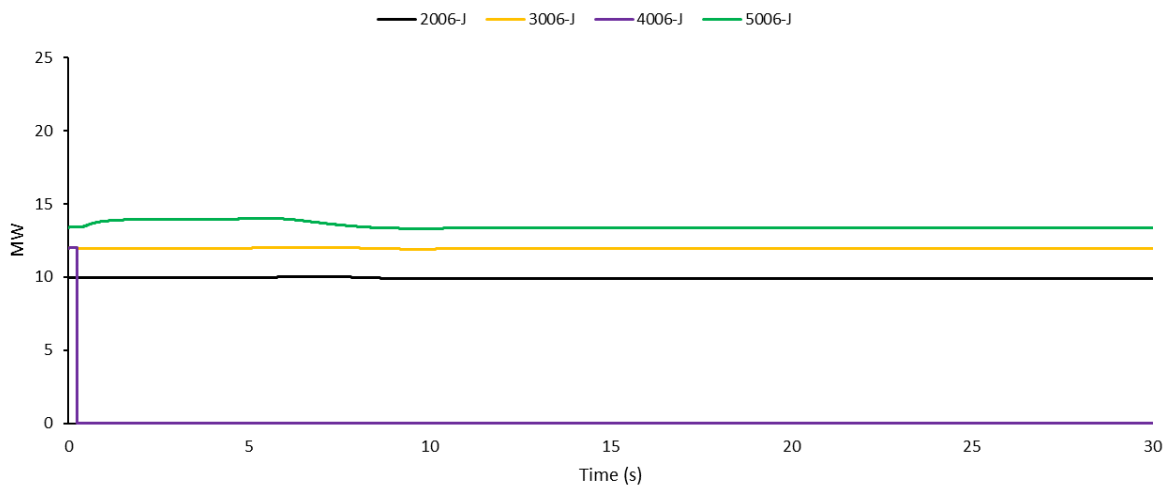
### FREQUENCY

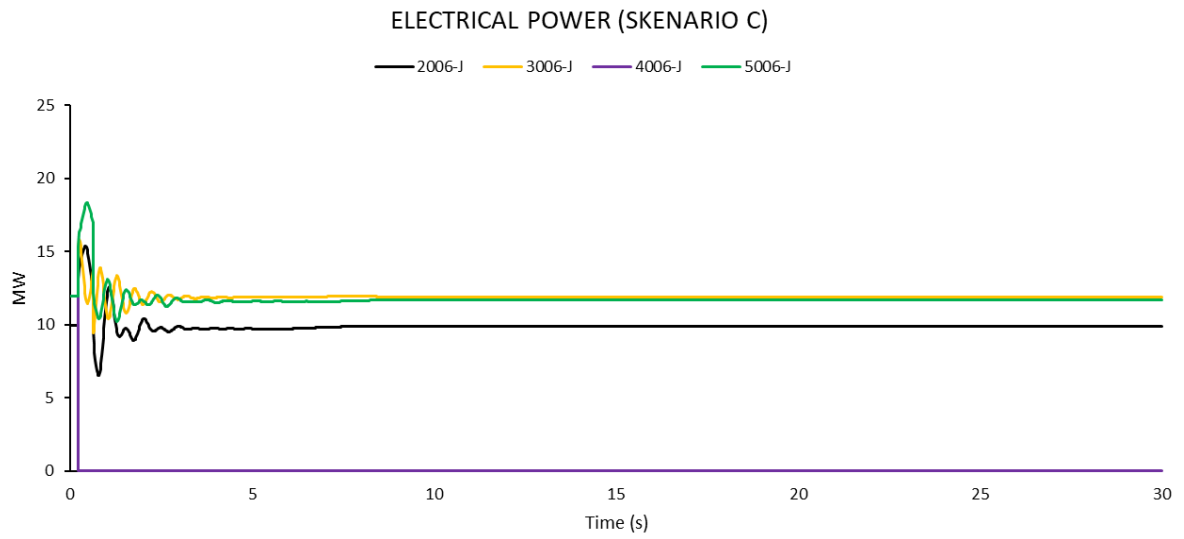


### VOLTAGE

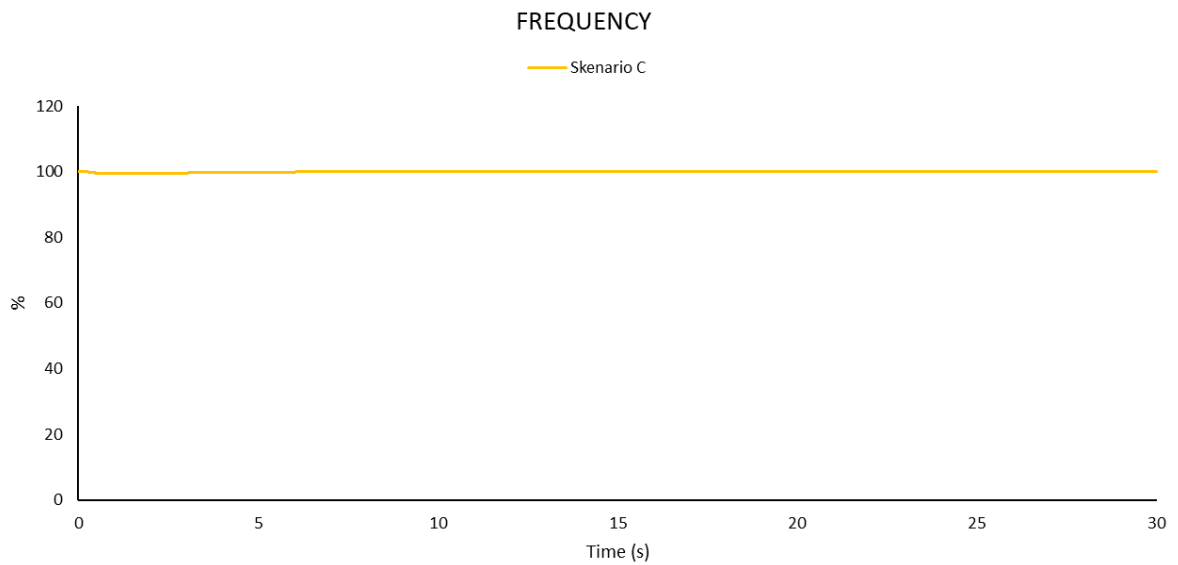


### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)



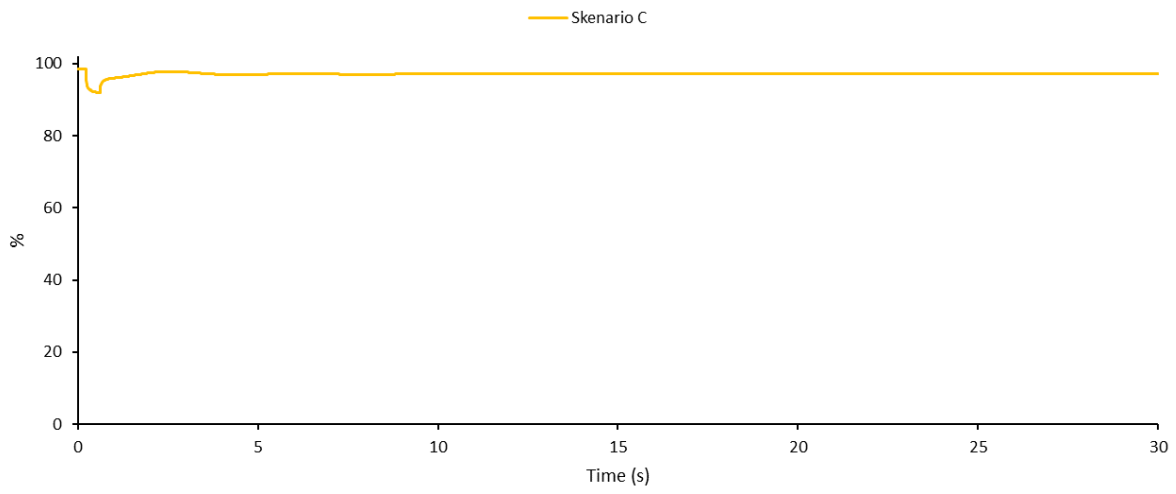


- *Studi Kasus Skenario C Pola Operasi STG Off, Generator P1B Outage dari Sistem (t=0.225s)*

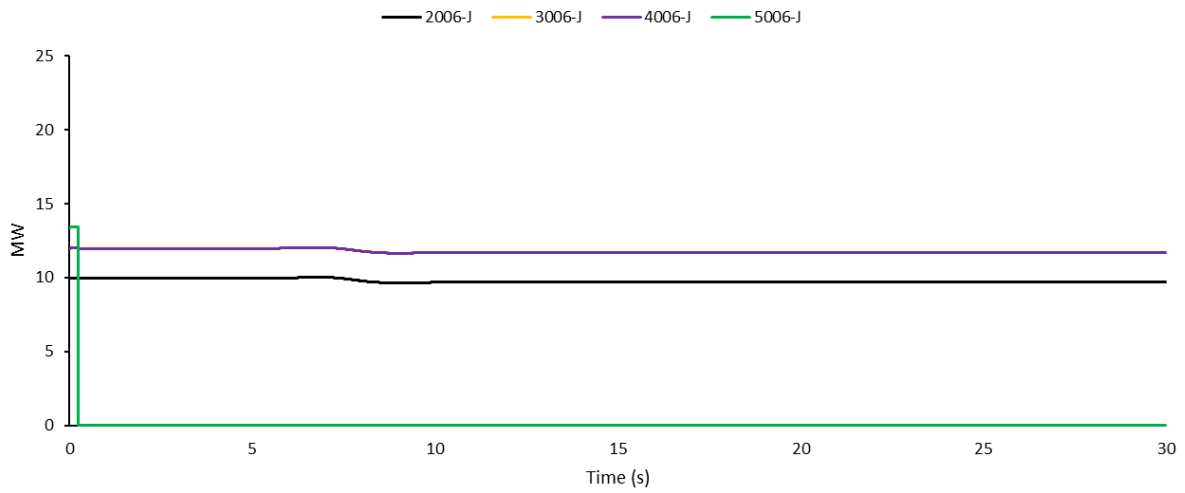




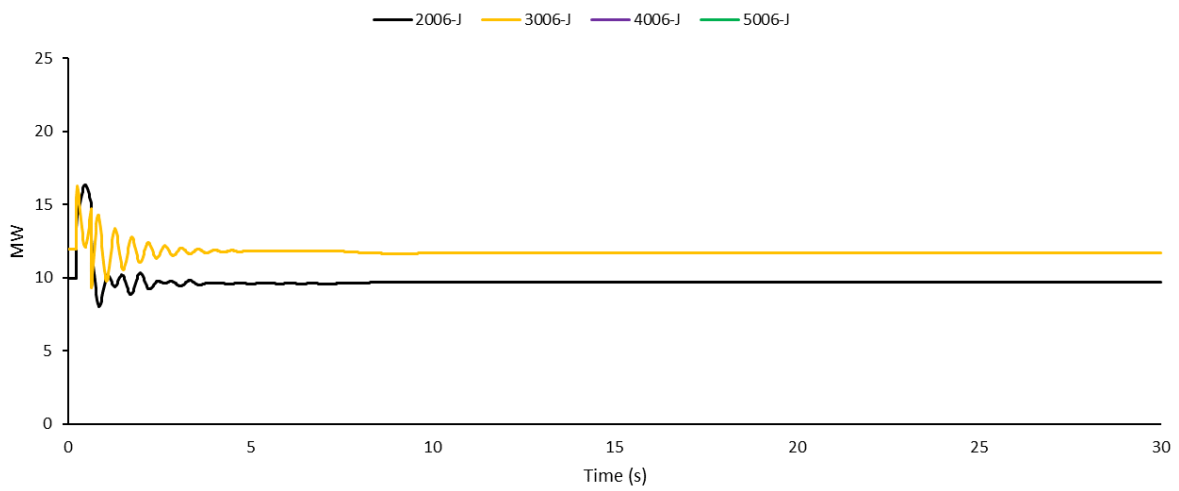
### VOLTAGE



### MECHANICAL POWER (SKENARIO C)



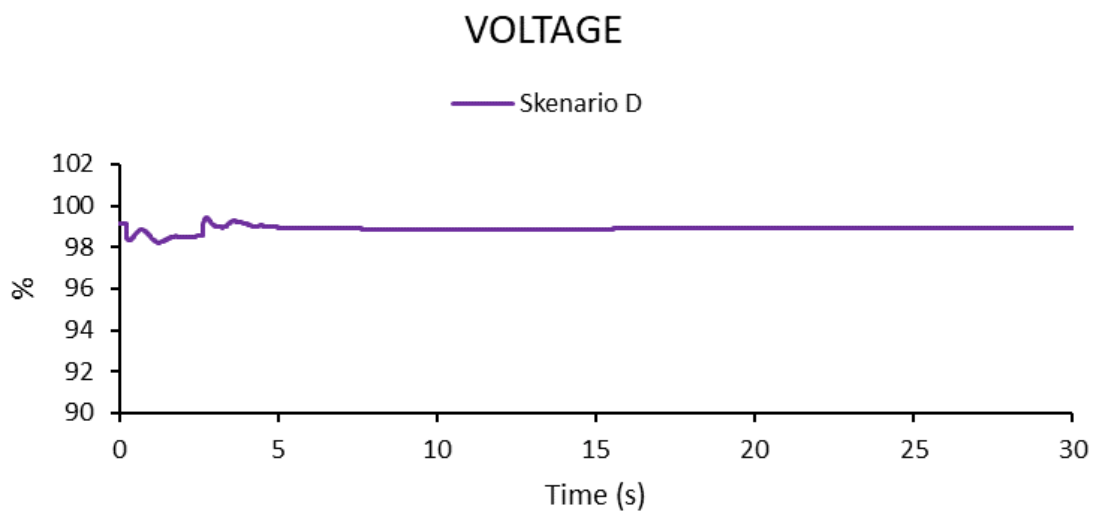
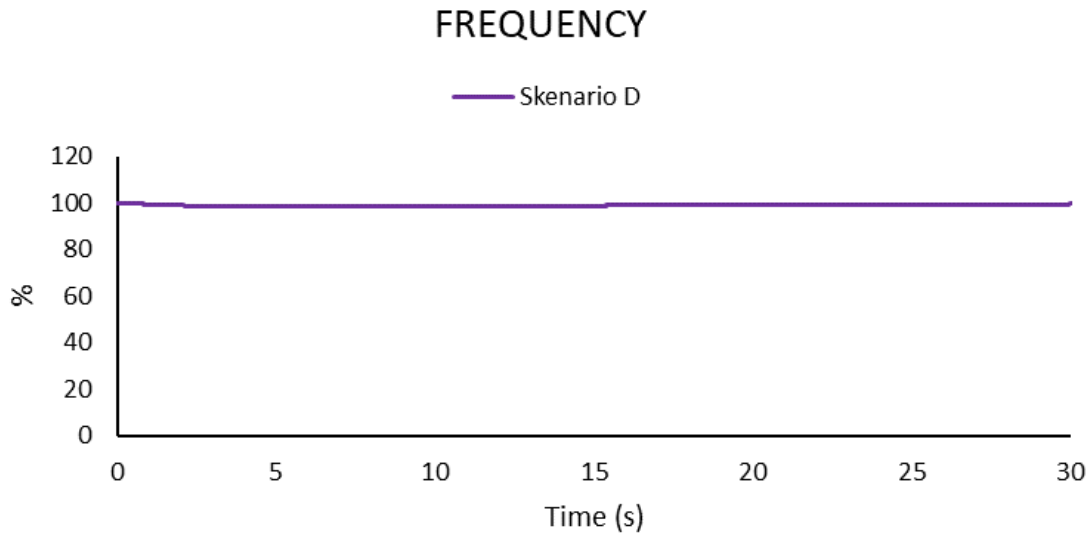
### ELECTRICAL POWER (SKENARIO C)



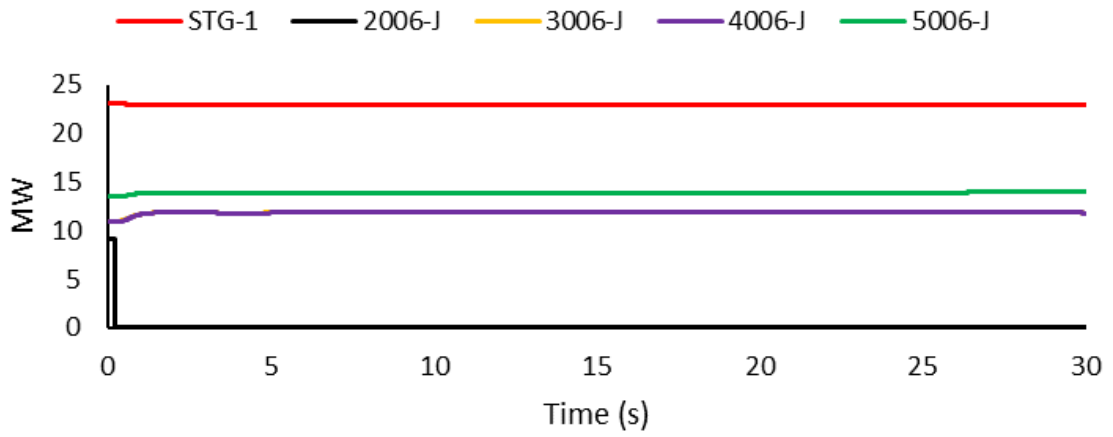


**Skenario D: Metode Frekuensi Pelepasan Beban Tiga Langkah**

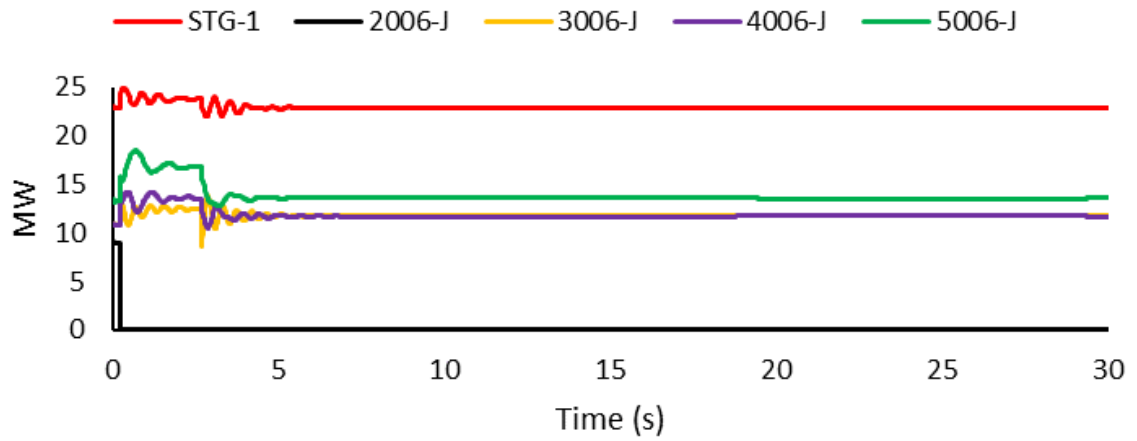
- *Studi Kasus Skenario D Pola Operasi Normal, Generator P2 Outage dari Sistem (t=0.225s)*



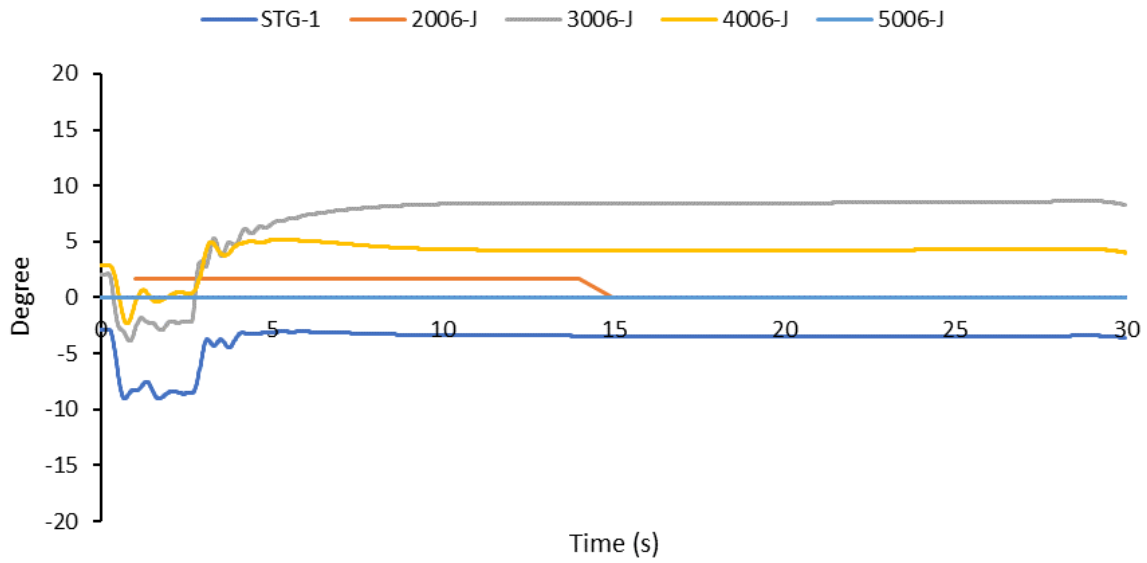
### MECHANICAL POWER (SKENARIO D)



### ELECTRICAL POWER (SKENARIO D)

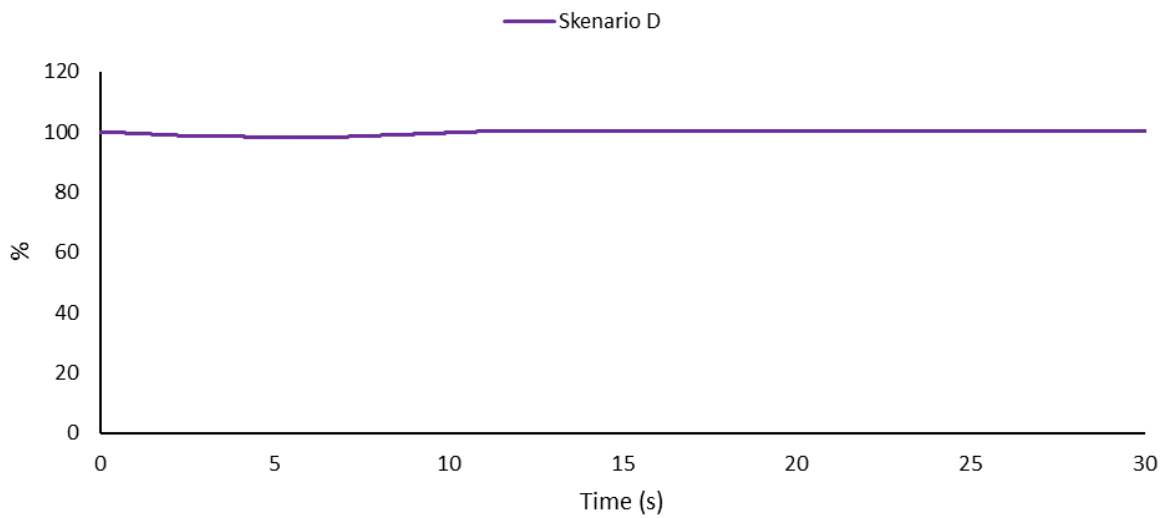


### POWER ANGLE (SKENARIO D)

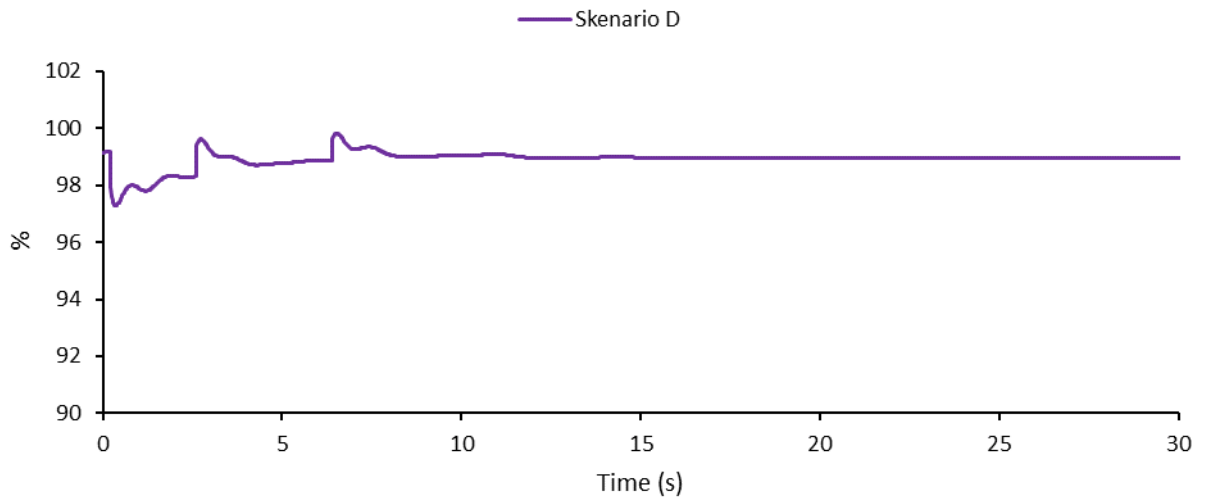


- *Studi Kasus Skenario D Pola Operasi Normal, Generator P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

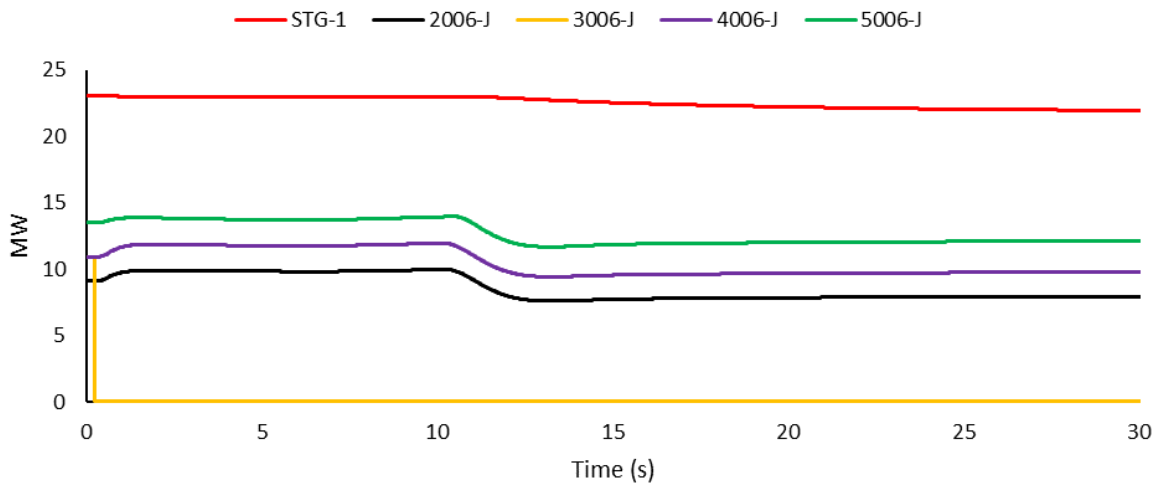
### FREQUENCY

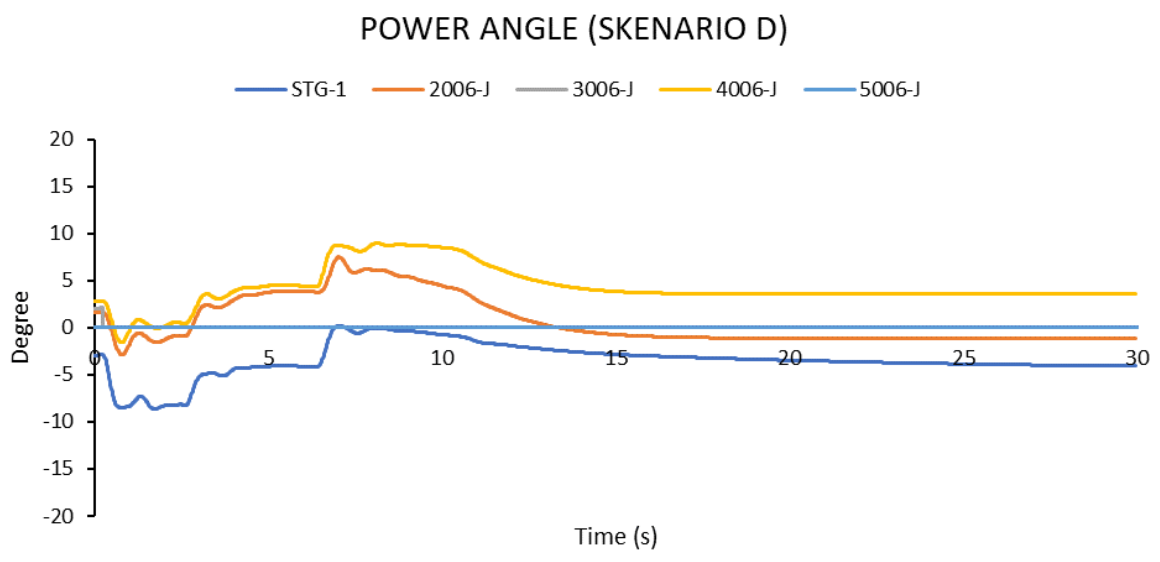
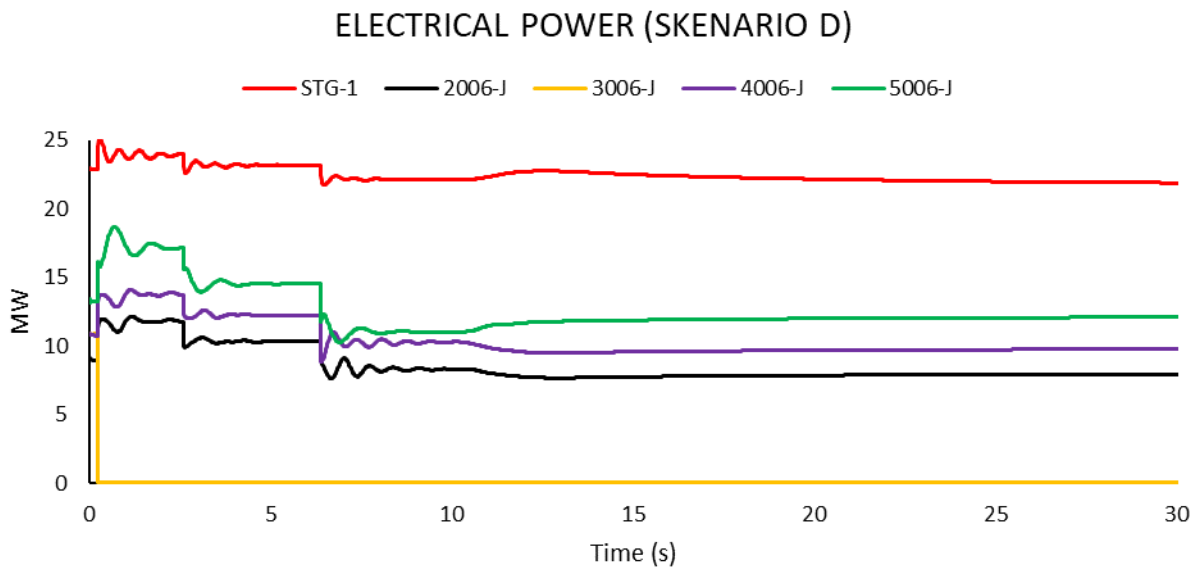


### VOLTAGE



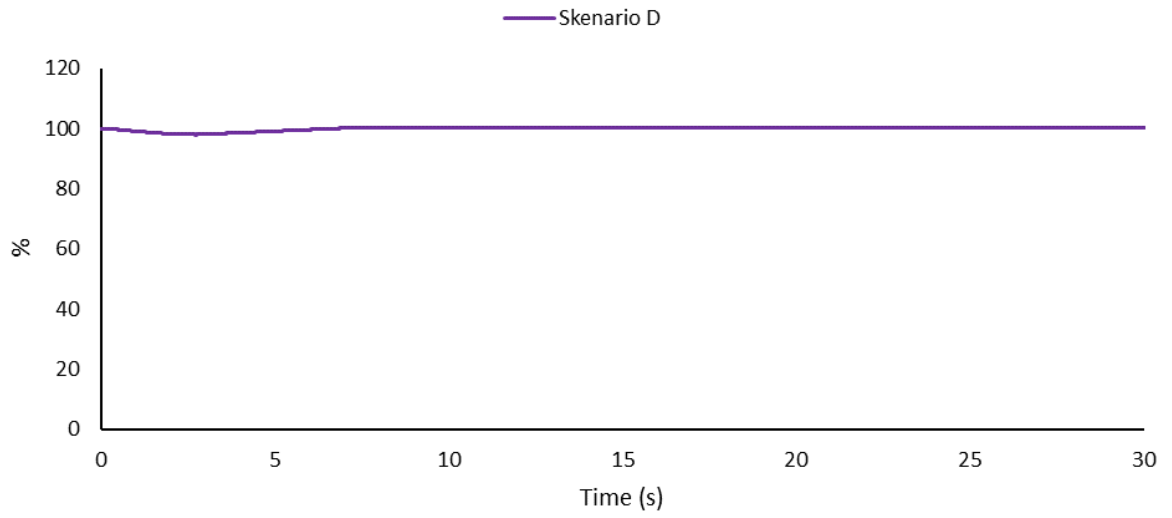
### MECHANICAL POWER (SKENARIO D)



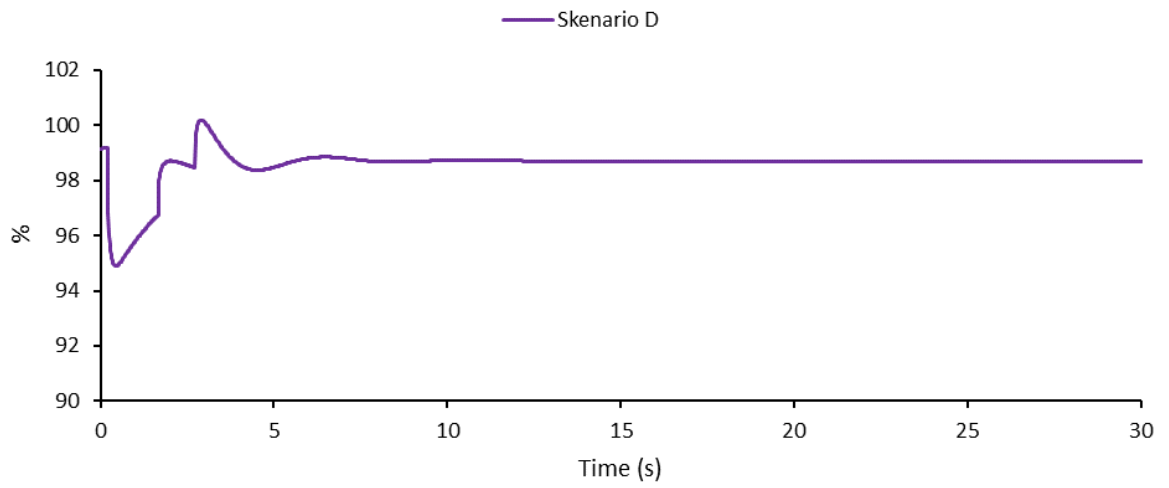


- *Studi Kasus Skenario D Pola Operasi Normal, Generator PIB Outage dari Sistem (t=0.225s)*

### FREQUENCY

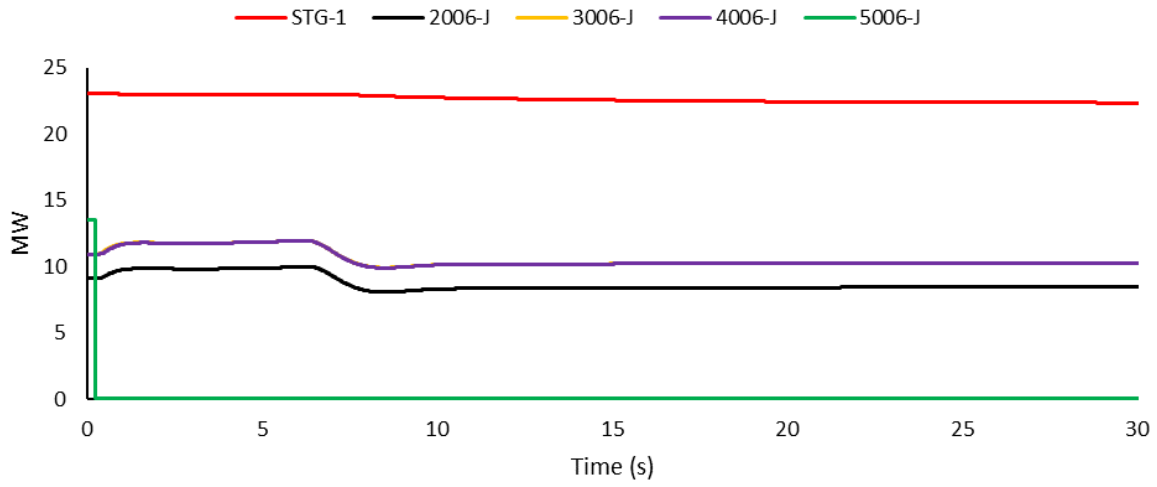


### VOLTAGE

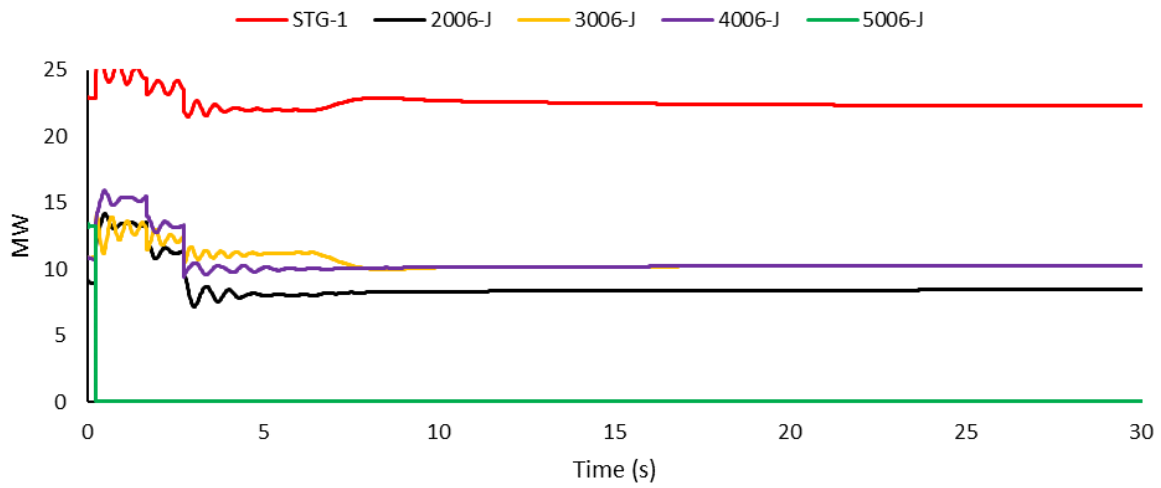


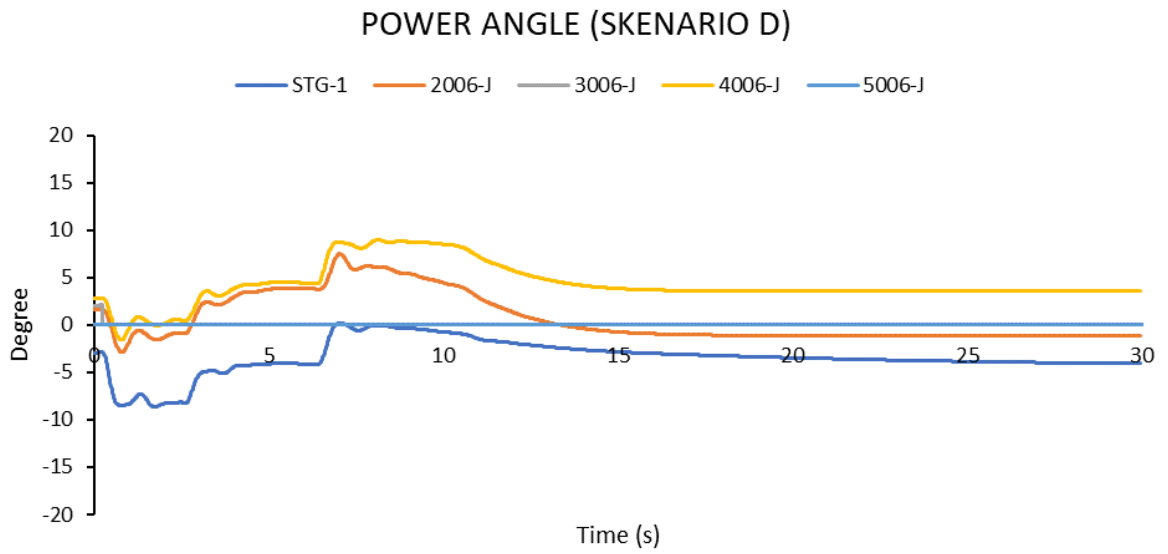


### MECHANICAL POWER (SKENARIO D)

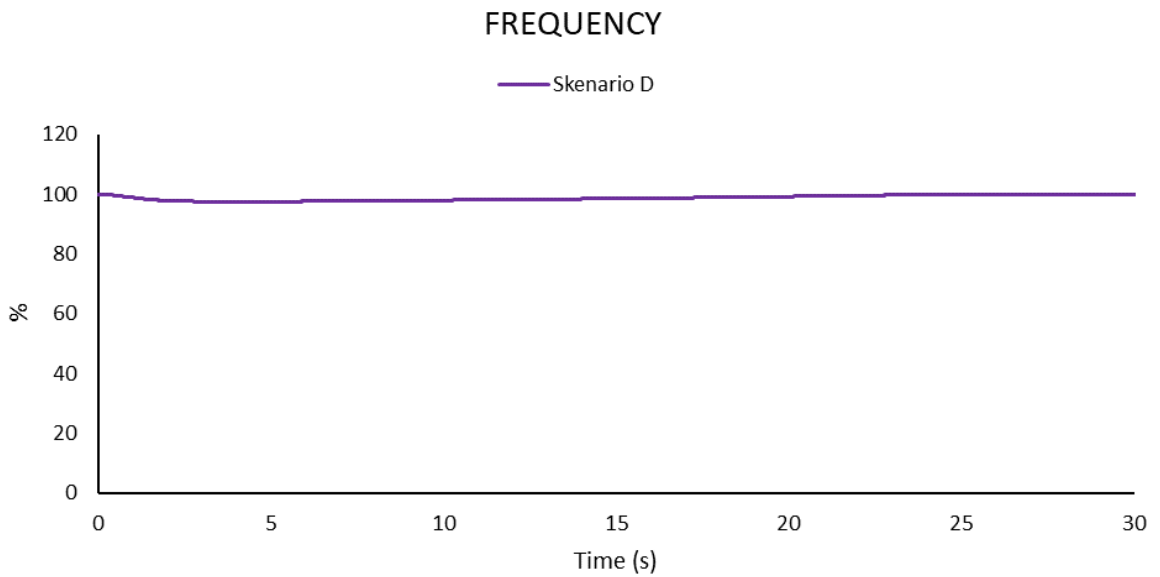


### ELECTRICAL POWER (SKENARIO D)

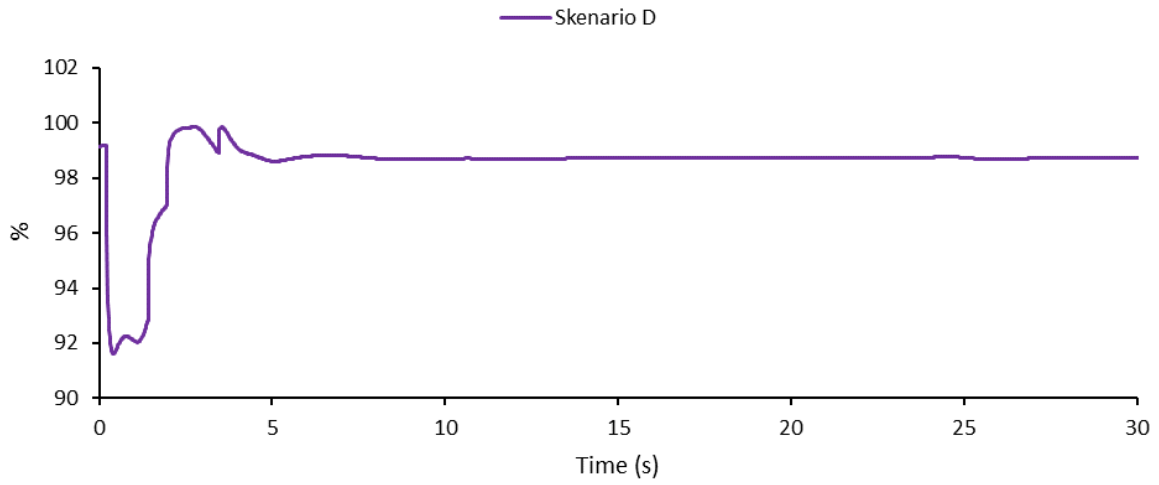




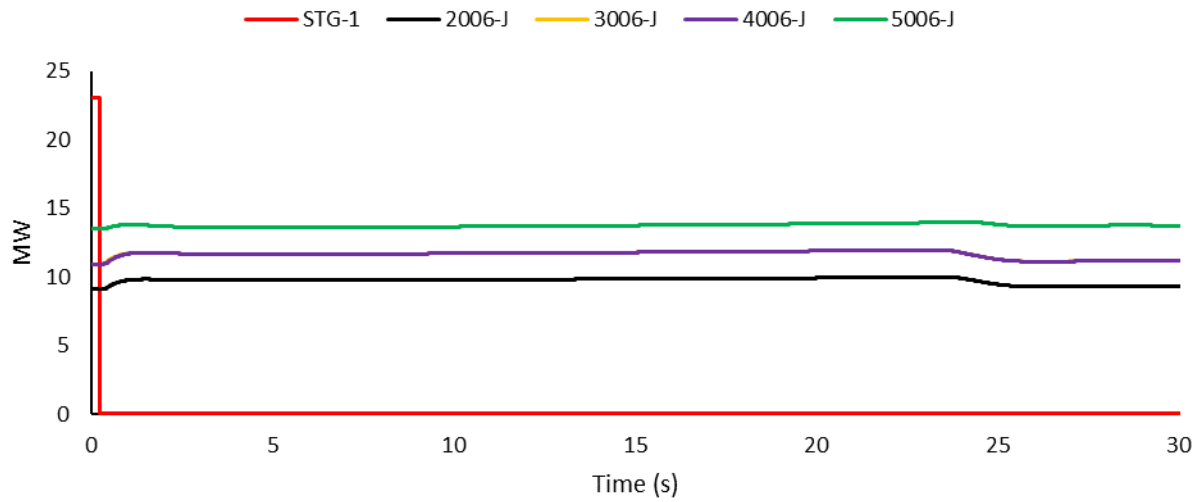
- *Studi Kasus Skenario D Pola Operasi Normal, Generator STG Outage dari Sistem ( $t=0.225s$ )*



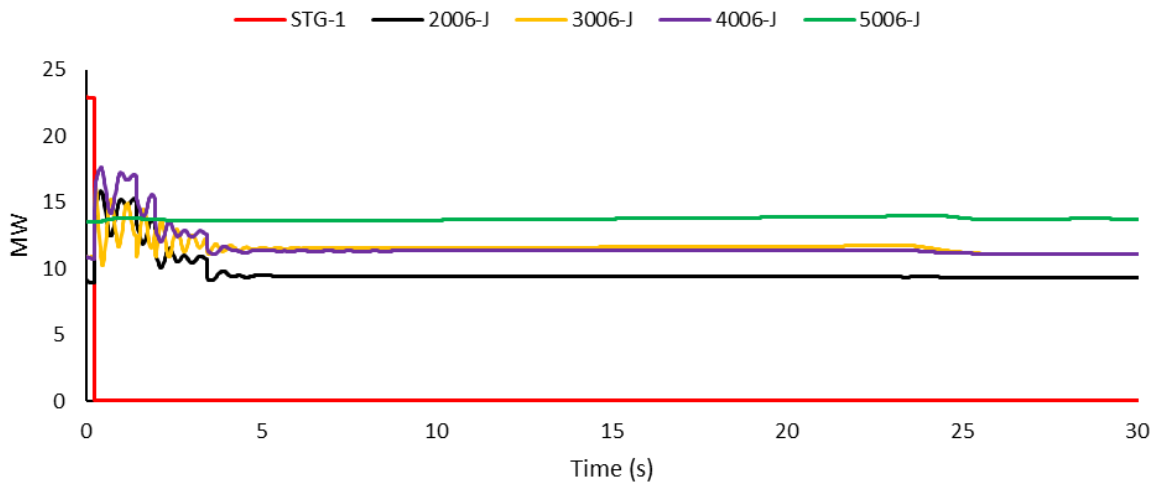
### VOLTAGE



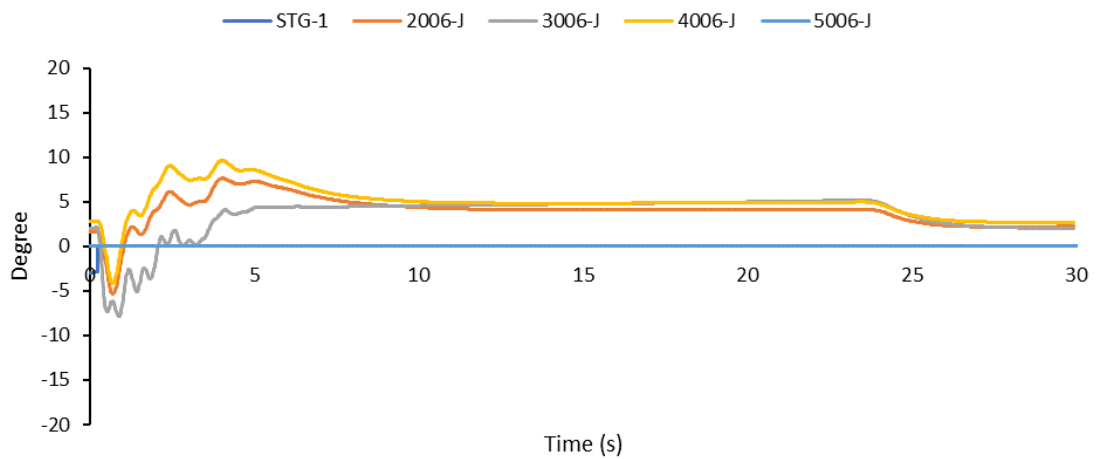
### MECHANICAL POWER (SKENARIO D)



### ELECTRICAL POWER (SKENARIO D)

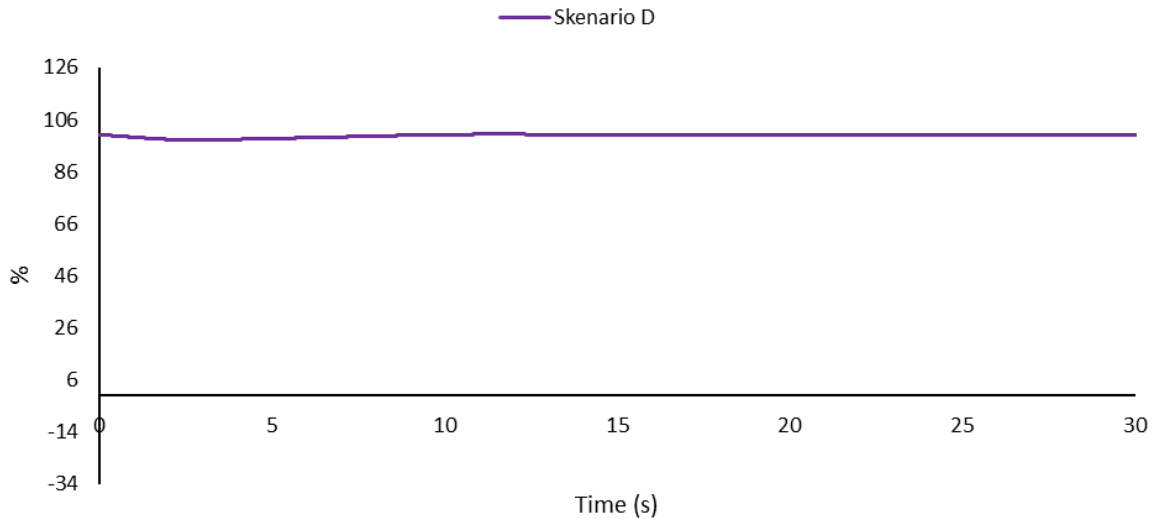


### POWER ANGLE (SKENARIO D)

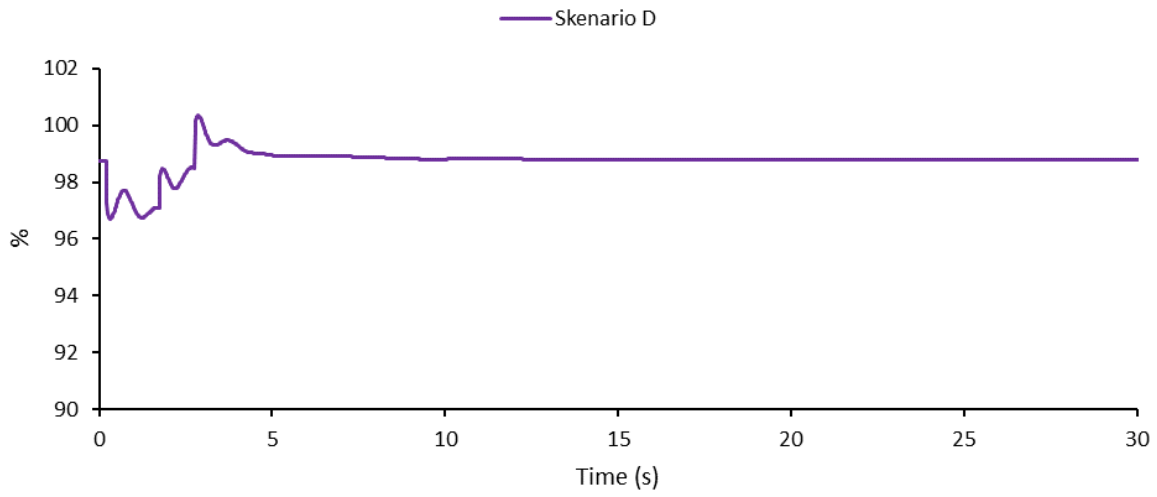


- *Studi Kasus Skenario D Pola Operasi P2 Off, Generator P3 Outage dari Sistem (t=0.225s)*

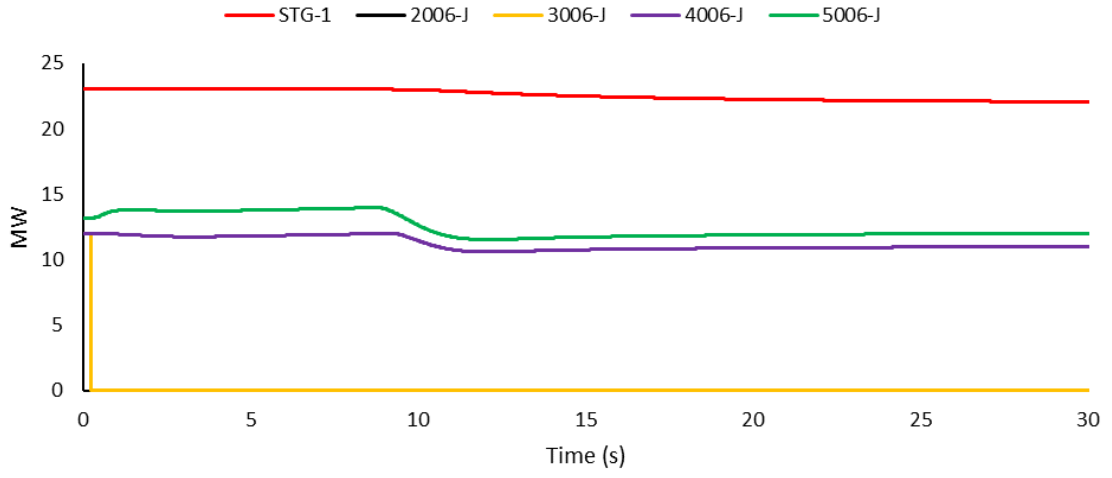
### FREQUENCY



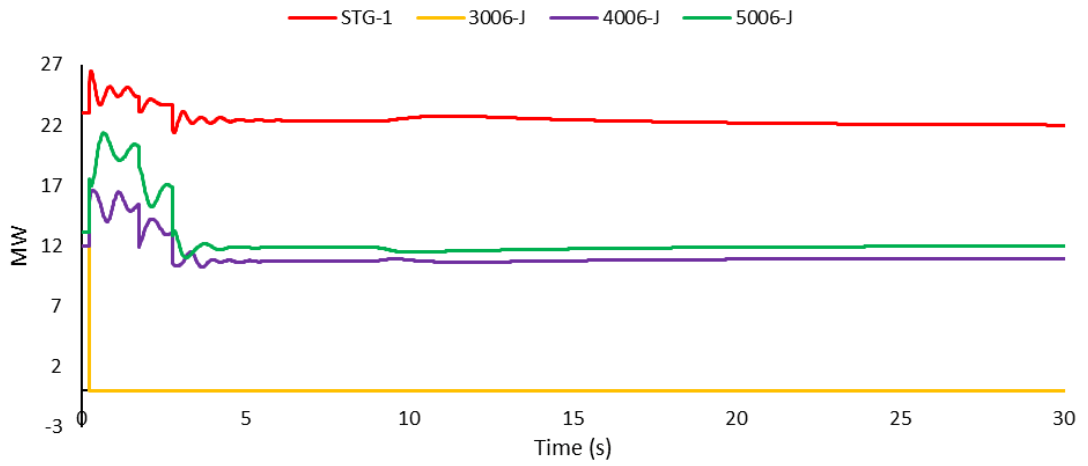
### VOLTAGE



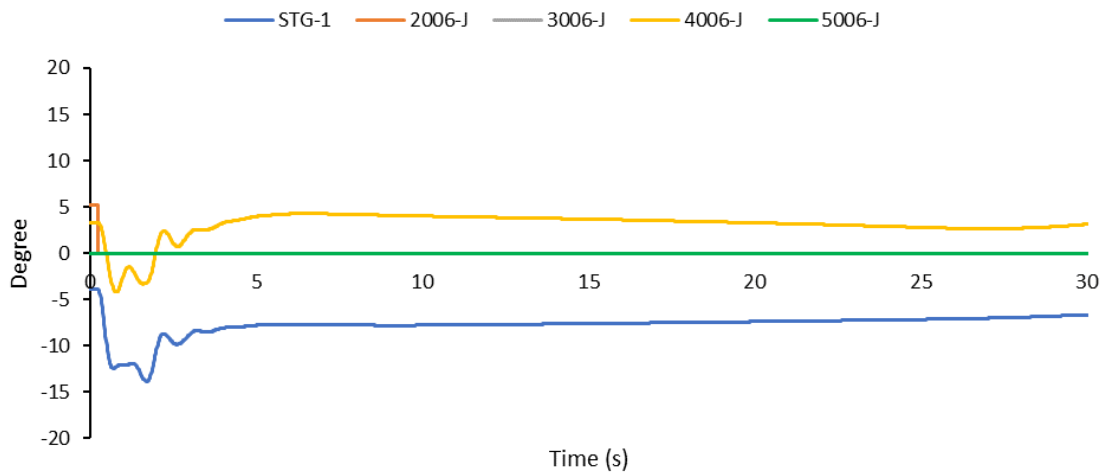
### MECHANICAL POWER (SKENARIO D)



### ELECTRICAL POWER (SKENARIO D)



### POWER ANGLE (SKENARIO D)





## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta, 15 September 2000, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Ar-Rahman Islamic School Depok, SD Ar-Rahman Islamic School Depok, SMP Negeri 85 Jakarta, dan SMA Negeri 70 Jakarta. Setelah lulus dari SMA di tahun 2018, penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 0711184000058.

Di Departemen Teknik Elektro Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATEKTRO) dan BEM Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas.