

# **ANALISA INDEKS KEKUATAN SISTEM PADA SAAT TERJADI GANGGUAN DI PLTA POSO**

---

**Marwan<sup>1)</sup>, Ati Lolo Ratnasari<sup>2)</sup>, dan Satriani Said Akhmad<sup>3)</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>1</sup>marwan@poliupg.ac.id

## **Abstrak**

Salahsatu aspek penilaian sebuah system interkoneksi ketika mengalami gangguan adalah indeks kekuatan system (IKS). IKS disusun berdasarkan rekapitulasi dari gangguan yang terjadi pada pembangkit pada suatu waktu tertentu yang menyebabkan turunnya frekuensi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai IKS system kelistrikan Sulawesi Bagian Selatan. Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, simulasi sistem kelistrikan pada saat terjadi gangguan di PLTA Poso dengan menggunakan DigSilent. Simulasi dilakukan pada saat terjadi gangguan dalam dua waktu yang berbeda yaitu pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dengan tiga skenario gangguan yakni pada saat trip 1 unit, trip 2 unit dan trip 3 unit. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya nilai IKS dalam WBP sebesar 55,05 MW/Hz dan LWBP yaitu 47,19 MW/Hz.

**Kata-kata kunci:** IKS, gangguan, simulasi

## **Abstract**

*One of the aspects on evaluating interconnection system when breakdown happened on the system is an electrical power system indeks (IKS). IKS is arranged based on recapitulation of disturbances that occurred at the power plant in a certain time that causes decreasing of frequency. The aim of this research to find out a value of electrical power system indeks (IKS) in South Sulawesi. To achieved this aim, simulation of the electrical system if an outage was occured in PLTA Pos under DgiSilent program. In this simulation, peak and off-peak season was chosen for the case study with three kinds of scenarious, such as: when 1 power plant was off, 2 power plant was off and 3 power plant was off, continuously. The result of research illustrated that a value of IKS for peak and off peka season were 55,05 MW/Hz and 47,19 MW/Hz.*

**Keywords:** IKS, outage, simulation

## **1. PENDAHULUAN**

Indeks Kekuatan Sistem (IKS) merupakan aspek penilaian sebuah sistem interkoneksi agar dapat mengetahui batasan nilai kekuatan sistem ketika mengalami gangguan. IKS disusun berdasarkan rekapitulasi dari gangguan yang terjadi pada pembangkit pada suatu waktu tertentu yang menyebabkan turunnya frekuensi. Batas nilai toleransi frekuensi yang diizinkan berkisar 0,5 Hz dari standar frekuensinya. Menurut Laporan Evaluasi Operasi Sistem Kelistrikan Sulbagsel dan Kendari simpangan-simpangan frekuensi yang terjadi umumnya disebabkan oleh gangguan-gangguan pembangkit, perubahan beban konsumen besar seperti Bosowa dan Tonasa, dan gangguan di sisi penyaluran atau distribusi.

Dari data UPB Sulselrahar pada bulan Desember 2016 terjadi penurunan frekuensi yang mana pada 17 Desember 2016 PLTA Poso-2 #1 #2 #3 trip dan menyebabkan frekuensi turun mencapai 48,616 Hz dan pada 27 Desember 2016 PLTU Jeneponto #1 Trip dan frekuensi turun ke 49,0006 Hz. Laju penurunan frekuensi yang terjadi dalam sistem tenaga listrik, tergantung dari besar kecilnya daya pembangkit yang hilang dari sistem interkoneksi.

Sistem interkoneksi harus memperhatikan bagaimana kekuatan sebuah sistem ketika terjadi gangguan pada sisi pembangkitan dan peningkatan beban secara tiba-tiba. Sistem yang dibangun dengan baik dapat meminimalkan laju penurunan frekuensi yang terjadi. Laju penurunan dapat dilihat pada saat frekuensi mulai turun dan berhenti turun dalam satuan waktu. Besarnya penurunan beban yang terjadi ketika frekuensi turun merupakan Indeks Kekuatan Sistem. Dengan kata lain Indeks Kekuatan Sistem adalah besarnya beban dalam MW/Hz.

## **2. KAJIAN PUSTAKA**

### **2.1 PLTA Poso**

PLTA Poso Energy terdiri dari tiga proyek dimana PLTA Poso-1 memiliki kapasitas potensi 60 MW, PLTA Poso-2 memiliki kapasitas potensi 180 MW, dan PLTA Poso-3 memiliki kapasitas 300 MW [1]. Ketiga PLTA ini menggunakan sumber daya air Sungai Poso, Desa Sulewana, Kecamatan Pamona Utara, Kabupaten Poso, Propinsi Sulawesi Tengah. Adapun PLTA yang

sudah beroperasi adalah PLTA Poso-2 dimana kini sudah mulai menjalankan aktifitas produksi listrik melalui energi air. Secara resmi, PLTA Poso-2 ini menjadi sebuah perusahaan yang bernama PT Poso Energy sejak tanggal 31 Mei 2005.

Menurut data terbaru Merit Order Sistem Sulbagsel Februari 2017 dari PT PLN (Persero) Unit Pengatur Beban (UPB) Sulselrabar, kapasitas potensi yang dimiliki oleh PLTA Poso-2 adalah 195 MW, dengan rincian 3 x 65 MW. Sehingga, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang terbaru 3 x 65 MW. Selain kapasitas yang dimiliki PLTA Poso-2 yang cukup besar, biaya pokok produksi juga terbilang cukup murah dibandingkan pembangkit lainnya seperti PLTU, PLTD dll.

## 2.2 Indeks Kekuatan System

IKS disusun berdasarkan rekapitulasi dari gangguan yang terjadi pada pembangkit pada suatu waktu tertentu yang menyebabkan turunnya frekuensi.

Menurut UPB Sulselrabar [2], persamaan yang digunakan untuk menentukan Indeks Kekuatan Sistem (IKS) adalah sebagai berikut:

- Persamaan untuk menghitung Beban yang hilang pada setiap gangguan, yaitu:

$$P_{\text{beban hilang}}(\%) = \left( \frac{P_{\text{beban}}}{P_{\text{beban sistem}}} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

- Persamaan untuk menghitung besar penurunan frekuensi (df), yaitu:

$$df \text{ (Hz)} = f_{\text{awal}} - f_{\text{akhir}} \quad (2)$$

- Persamaan untuk menghitung waktu penurunan frekuensi (dt), yaitu:

$$dt \text{ (detik)} = t_{\text{awal}} - t_{\text{akhir}} \quad (3)$$

- Persamaan untuk menghitung laju penurunan frekuensi/satuan waktu, yaitu:

$$\text{Laju penurunan frekuensi} \left( \frac{\text{Hz}}{\text{detik}} \right) = \frac{df}{dt} \quad (4)$$

- Persamaan untuk menghitung Indeks Kekuatan Sistem (IKS) pada sistem Sulsebar:

$$IKS \left( \frac{MW}{Hz} \right) = P_{\text{beban puncak tertinggi}} \times \text{Persamaan Linear } P_{\text{bebanhilang}} \text{ dan } df \quad (5)$$

### 2.3 Pengaturan Frekuensi

Menurut [3] Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik sesuai dengan standar frekuensi yang telah ditetapkan. Penyimpangan frekuensi harus dalam batas nilai toleransi. Untuk mempertahankan frekuensi dalam batas nilai toleransi, pembangkit diharapkan dapat selalu menyeimbangkan daya aktifnya dengan daya aktif kebutuhan konsumen. Pengaturan daya aktif dilakukan dengan mengatur kopel penggerak generator.

Menurut P3B JB [4]) hubungan antara kopel mekanis penggerak generator dengan perputaran generator dapat dilihat pada persamaan hukum Newton sebagai berikut [5-7]:

$$(TG - TB) = H x \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

sedangkan frekuensi yang dihasilkan generator adalah [8-10] :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (7)$$

dimana :

- TG = Kopel Penggerak Generator
- TB = Kopel Beban yang Membebani Generator
- H = Momen Inersia dari Generator Beserta Mesin penggerak
- $\omega$  = Kecepatan Sudut Perputaran Generator.
- f = frekuensi

Pengaturan frekuensi pada suatu sistem dapat diartikan sebagai pengaturan kopel penggerak generator atau pengaturan daya aktif dari generator. Ketidakseimbangan daya pembangkit dengan beban merupakan hal utama yang dapat menyebabkan pergeseran nilai nominal frekuensi. Hal-hal yang dapat menimbulkan ketidakseimbangan tersebut, antara lain:

1. Kenaikan beban konsumen secara tiba-tiba;
2. Terjadinya gangguan pada unit pembangkit yang sedang beroperasi yang menyebabkan keluaran outputnya tiba-tiba menurun;
3. Gangguan pada unit pembangkit yang sedang beroperasi yang menyebabkan unit keluar (trip) dari sistem [4].

Ketidakseimbangan yang menimbulkan perubahan laju frekuensi. Laju penurunan yang kecil masih dapat ditangani oleh aksi governor unit-unit pembangkit yang sedang beroperasi, baik secara otomatis ataupun manual oleh dispatcher.

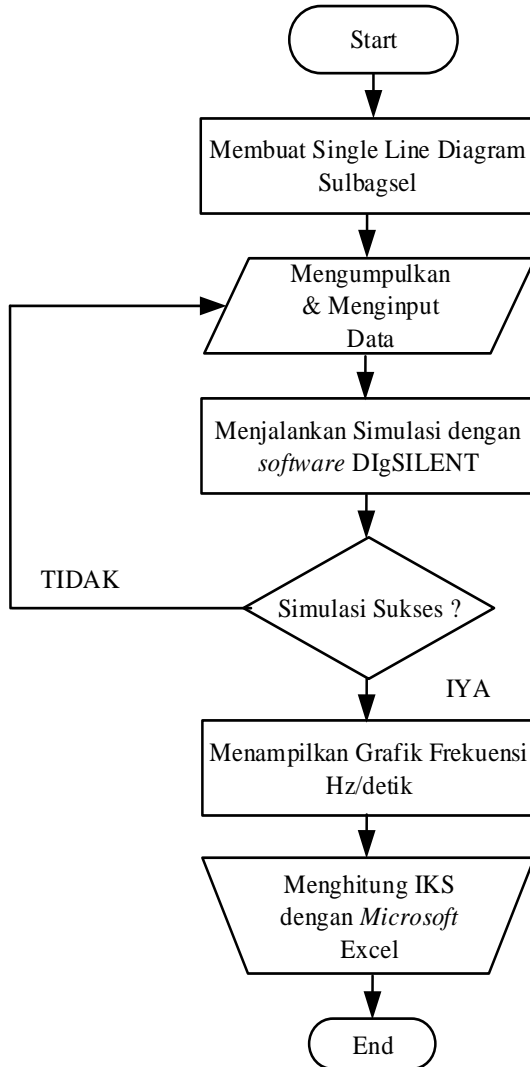
Apabila pembangkit yang memiliki kapasitas potensi yang cukup besar mengalami trip atau sistem kehilangan pasokan daya yang besarnya melebihi Indeks Kekuatan Sistem (IKS) maka frekuensi sistem akan turun. Gangguan tersebut dapat mengancam kestabilan sistem, karena governor baru memberikan output setelah 4 detik, untuk itu diperlukan langkah penyelamatan seketika, yaitu penerapan skema pelepasan beban (load shedding) [4].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai IKS system kelistrikan Sulawesi Bagian Selatan ketika terjadi gangguan di Poso.

### **3. METODE PENELITIAN**

Untuk menyelesaikan penelitian ini, tahapan-tahapan yang dilakukan adalah : melakukan simulasi sistem kelistrikan Sulawesi bagian selatan (Sulbagsel) dengan menggunakan DigSilent. Selanjutnya memberikan gangguan pada PLTA Poso-2 dengan beberapa skenario seperti trip 1 unit, trip 2 unit and trip 3 unit. Laju penurunan frekuensi akan diperoleh dari hasil simulasi tersebut. Dengan demikian akan diperoleh nilai selisih dari frekuensi pada saat mulai turun hingga berhenti.

Gambar berikut ini menjelaskan prosedur penelitian yang telah dilakukan. Nilai IKS diperoleh berdasarkan nilai frekuensi yang disimulasikan dengan menggunakan DigSilent Power factory. Dalam penelitian ini single line diagram Sulbagsel dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data serta ketika terjadi gangguan yang terjadi di PLTA Poso. Dalam melakukan simulasi, IKS sistem kelistrikan Sulbagsel dilakukan pada saat terjadi gangguan di PLTA Poso-2 yang disimulasikan dalam dua waktu yang berbeda yaitu pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) pada tanggal 17 Desember 2016.



**GAMBAR 1** FLOWCHAR PENELITIAN

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

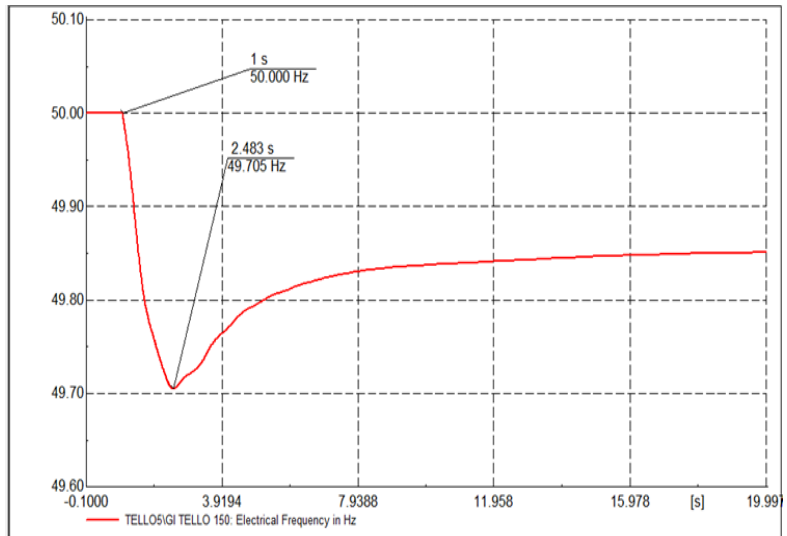
Pada penelitian ini, IKS sistem kelistrikan Sulbagsel dilakukan pada saat terjadi gangguan di PLTA Poso-2 yang disimulasikan dalam dua waktu yang berbeda yaitu pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP). Dengan tiga skenario gangguan yakni:

- a. Skenario I : PLTA Poso-2 Trip 1 Unit;
- b. Skenario II : PLTA Poso-2 Trip 2 Unit; dan
- c. Skenario III : PLTA Poso-2 Trip 3 Unit;

##### 4.1. Waktu Beban Puncak

Pada kegiatan ini dilakukan simulasi pada tanggal 17 Desember 2016 tepatnya pada Waktu Beban Puncak (WBP) pukul 19.00 WITA dengan tiga skenario gangguan pada PLTA Poso-2. Dari ketiga skenario gangguan yang disimulasikan, dapat dilihat garfik laju penurunan frekuensinya sebagai berikut:

- a. Skenario I : PLTA Poso-2 Trip 1 Unit (Unit #1)

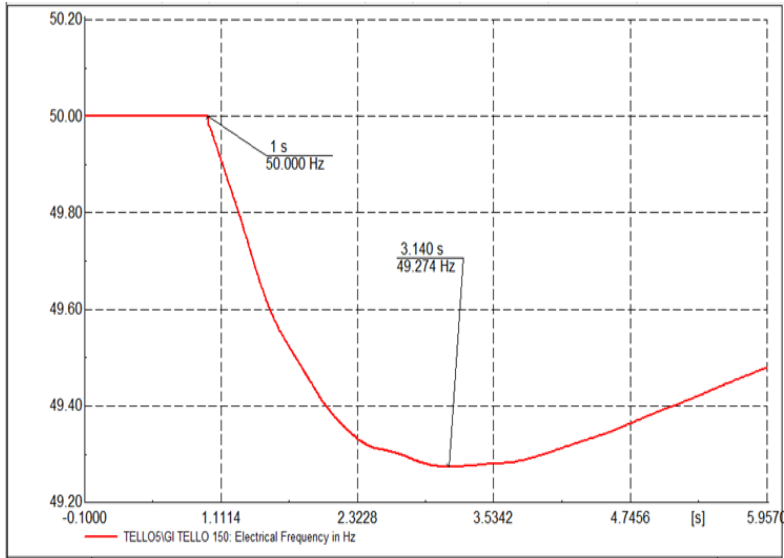


**GAMBAR 2** GRAFIK PENURUNAN FREKUENSI SKENARIO 1 WBP

Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan frekuensi dari 50 Hz menjadi 49,70 Hz dalam waktu 2,843 Hz. Hal ini disebabkan

karena terjadinya gangguan pada unit 1 PLTA Poso 2. Besarnya nilai frekuensi kembali meningkat sebesar 49.85 Hz dalam waktu 11,958 detik.

b. Skenario II : PLTA Poso-2 Trip 2 Unit (Unit #1#2)



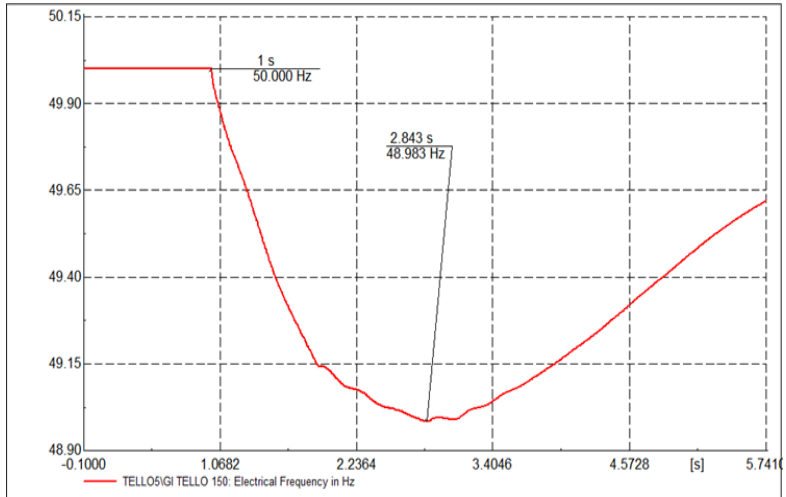
**GAMBAR 3** GRAFIK PENURUNAN FREKUENSI SKENARIO 2 WBP

Gambar 3 menunjukkan bahwa akibat terjadinya gangguan pada 2 buah unit pembangkit PLTA Poso-2 sehingga terjadi penurunan frekuensi dari 50 Hz sampai pada 49,274 Hz dalam waktu 3,140 detik. Seperti halnya pada skenario sebelumnya, besarnya nilai frekuensi akan kembali meningkat sesaat, seperti 49,38 Hz dalam waktu 4,756 detik dan 49,48 Hz dalam waktu 5,967 detik setelah terjadinya gangguan.

c. Skenario III : PLTA Poso-2 Trip 3 Unit (Unit #1#2#3)

Gambar berikut ini menunjukkan bahwa setelah terjadinya gangguan pada ketiga pembangkit maka terjadi penurunan frekuensi dari 50 Hz menjadi 48,90 Hz dalam waktu 2,843 detik. Besarnya nilai frekuensi berangsur meningkat sampai padada titik 49,63 Hz dalam waktu 5,74 detik.





**GAMBAR 4** GRAFIK PENURUNAN FREKUENSI SKENARIO 3 WBP

Data penurunan frekuensi dari ketiga gangguan diatas dapat digunakan sebagai data awal untuk menghitung Indeks Kekuatan Sistem Sulbagsel sebagai berikut:

a. Skenario I : PLTA Poso-2 Trip 1 Unit (Unit #1)

$$\begin{aligned}
 P_{beban\ hilang} &= \left( \frac{P_{beban}}{P_{beban\ sistem}} \right) \times 100 \% \\
 &= \left( \frac{52,8\ MW}{983,06\ MW} \right) \times 100 \% \\
 &= 5,37 \%
 \end{aligned}$$

$$df = 50\ Hz - 49,7052\ Hz = 0,2948\ Hz$$

$$dt = 2,483\ s - 1\ s = 1,483\ s$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{0,2948}{1,483} = 0,199\ Hz/s$$

b. Skenario II : PLTA Poso-2 Trip 2 Unit (Unit #1#2)

$$P_{beban\ hilang} = \left( \frac{P_{beban}}{P_{beban\ sistem}} \right) \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{52,8 \text{ MW} + 62,8 \text{ MW}}{983,06 \text{ MW}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{115,6 \text{ MW}}{983,06 \text{ MW}} \right) \times 100 \% \\ &= 11,76 \% \end{aligned}$$

$$df = 50 \text{ Hz} - 49,2739 \text{ Hz} = 0,7261 \text{ Hz}$$

$$dt = 3,14 \text{ s} - 1 \text{ s} = 2,14 \text{ s}$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{0,7261}{2,14} = 0,339 \text{ Hz/s}$$

c. Skenario III : PLTA Poso-2 Trip 2 Unit (Unit #1#2#3)

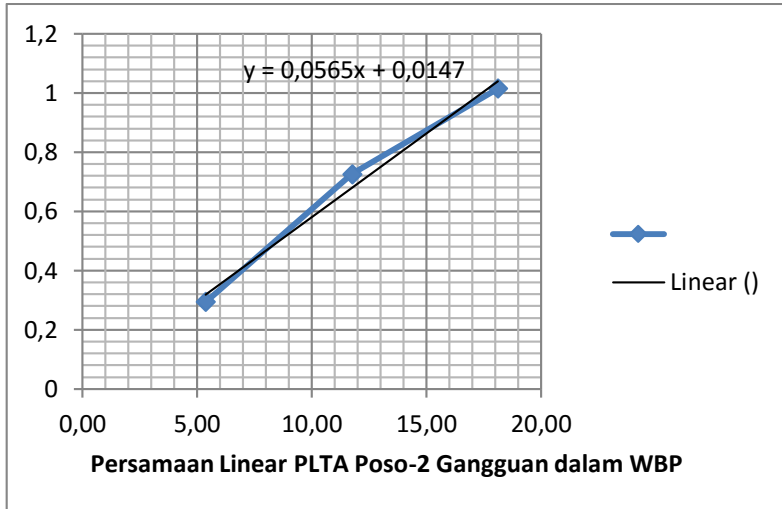
$$\begin{aligned} P_{\text{beban hilang}} &= \left( \frac{P_{\text{beban}}}{P_{\text{beban sistem}}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{52,8 \text{ MW} + 62,8 + 62,6 \text{ MW}}{983,06 \text{ MW}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{178,2 \text{ MW}}{983,06 \text{ MW}} \right) \times 100 \% \\ &= 18,13 \% \end{aligned}$$

$$df = 50 \text{ Hz} - 48,9832 \text{ Hz} = 1,0168 \text{ Hz}$$

$$dt = 2,83 \text{ s} - 1 \text{ s} = 1,843 \text{ s}$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{1,0168}{1,843} = 0,552 \text{ Hz/s}$$

Berikut grafik persamaan linier pada beban yang hilang pada saat gangguan dan besar penurunan frekuensi (df):



**GAMBAR 5** GRAFIK PERSAMAAN LINEAR

Sehingga Indeks Kekuatan Sistem Sulbagsel Tanggal 17 Desember 2016 pada Waktu Beban Puncak (WBP) adalah sebagai berikut:

*IKS Sistem*

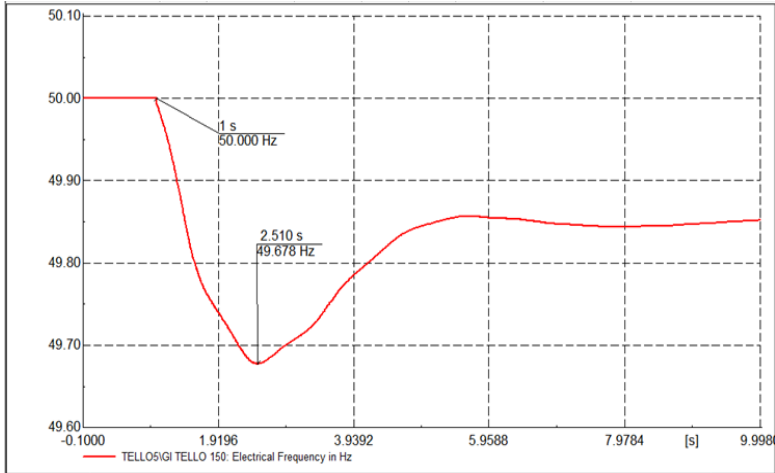
$$\begin{aligned} &= P_{\text{beban puncak tertinggi}} \times \text{Persamaan Linear } P_{\text{bebanhilang}} \text{ dan } df \\ &= 983,06 \text{ MW} \times 0,056 \\ &= 55,05 \text{ MW/Hz} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya Indeks Kekuatan Sistem Sulbagsel pada tanggal 17 Desember 2016 tepatnya pada Waktu Beban Puncak (WBP) pukul 19.00 WITA dengan tiga skenario gangguan pada PLTA Poso-2 adalah 55,05 MW/Hz.

#### **4.2. Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)**

Seperti halnya pada simulasi diatas, simulasi yang dilakukan pada bagian kedua ini adalah luar waktu beban puncak pukul 14:00 dengan menggunakan 3 skenario seperti sebelumnya:

- Skenario I : PLTA Poso-2 Trip 1 Unit (Unit #1)

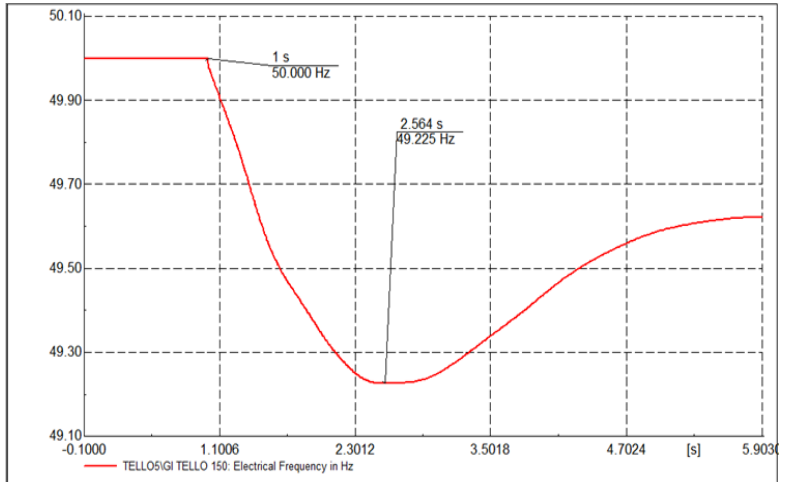


**GAMBAR 6** GRAFIK PENURUNAN FREKUENSI SKENARIO 1 LWBP

Gambar 6 menunjukkan bahwa akibat terjadinya gangguan diluar waktu beban puncak maka terjadi penurunan frekuensi dari 50 Hz menjadi 49,678 Hz dalam waktu 2,51 detik. Hal ini disebabkan karena terjadinya gangguan (trip) pada unit 1. Besarnya nilai frekuensi kembali meningkat beberapa saat kemudian menjadi 49,85 Hz dalam waktu 4 detik setelah gangguan.

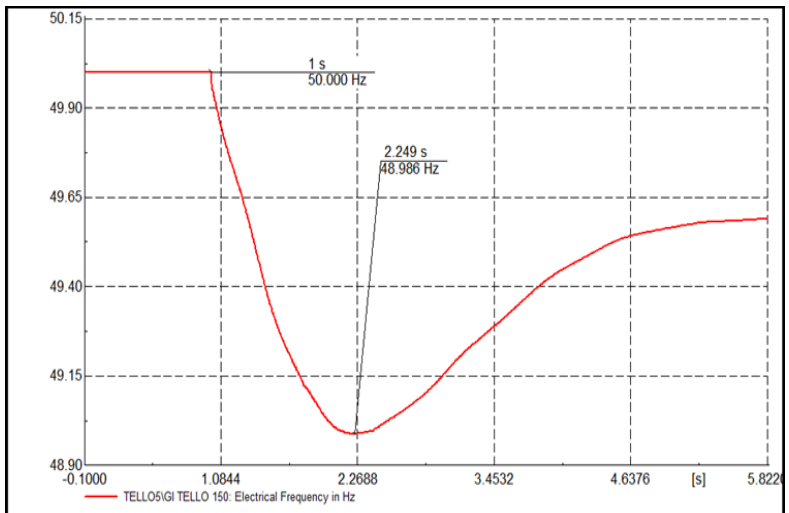
b. Skenario II : PLTA Poso-2 Trip 2 Unit (Unit #1#2)

Gambar 7 berikut ini menunjukkan dampak terjadinya gangguan pada 2 unit PLTA Poso-2. Besarnya nilai frekuensi menurun sampai ke 49,225 Hz dalam waktu 2,564 detik. Nilai frekuensi berangsur meningkat sampai 49,63 Hz dalam waktu 5,90 detik. Penurunan nilai frekuensi lebih besar dari sebelumnya karena terjadinya gangguan pada 2 buah unit pembangkit.



**GAMBAR 7** GRAFIK PENURUNAN FREKUENSI SKENARIO 2 LWBP

c. Skenario III : PLTA Poso-2 Trip 3 Unit (Unit #1#2#3)



**GAMBAR 8** GRAFIK PENURUNAN FREKUENSI SKENARIO 3 LWBP

Gambar 8 menunjukkan bahwa karena terjadinya gangguan (trip) pada 3 unit pembangkit maka besarnya nilai frekuensi turun drastis sampai pada 48,90 Hz dalam waktu 2.249 detik. Nilai frekuensi kembali meningkat sampai pada 49,63 dalam waktu 5,822 detik setelah terjadinya gangguan.

Data penurunan frekuensi dari ketiga gangguan diatas dapat digunakan sebagai data awal untuk menghitung Indeks Kekuatan Sistem Sulbagsel sebagai berikut:

a. Skenario I : PLTA Poso-2 Trip 1 Unit (Unit #1)

$$\begin{aligned} P_{beban\ hilang} &= \left( \frac{P_{beban}}{P_{beban\ sistem}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{52,8\ MW}{759,57\ MW} \right) \times 100 \% \\ &= 6,95 \% \end{aligned}$$

$$df = 50\ Hz - 49,6777\ Hz = 0,3223\ Hz$$

$$dt = 2,51\ s - 1\ s = 1,51\ s$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{0,3223}{1,51} = 0,213\ Hz/s$$

b. Skenario II : PLTA Poso-2 Trip 2 Unit (Unit #1#2)

$$\begin{aligned} P_{beban\ hilang} &= \left( \frac{P_{beban}}{P_{beban\ sistem}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{52,8\ MW + 62,8\ MW}{759,57\ MW} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{115,6\ MW}{759,57\ MW} \right) \times 100 \% \\ &= 14,23 \% \end{aligned}$$

$$df = 50\ Hz - 49,2254\ Hz = 0,7746\ Hz$$

$$dt = 2,564\ s - 1\ s = 1,564\ s$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{0,7746}{1,564} = 0,495\ Hz/s$$

c. Skenario III : PLTA Poso-2 Trip 3 Unit (Unit #1#2#3)

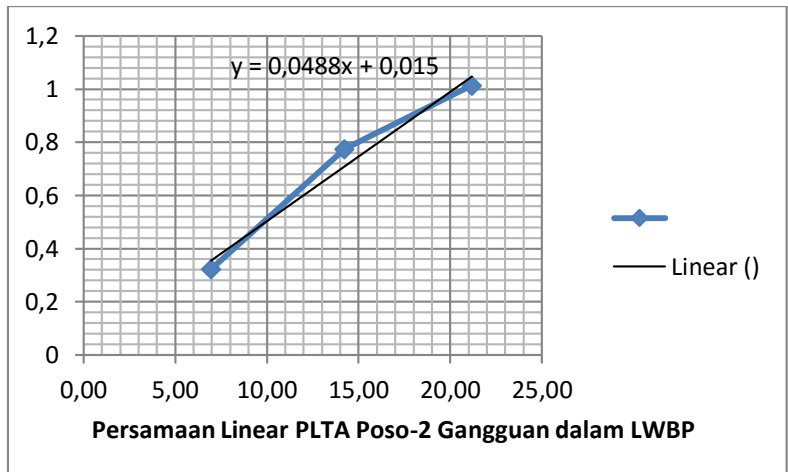
$$\begin{aligned} P_{\text{beban hilang}} &= \left( \frac{P_{\text{beban}}}{P_{\text{beban sistem}}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{52,8 \text{ MW} + 62,8 + 62,6 \text{ MW}}{759,57 \text{ MW}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{178,2 \text{ MW}}{759,57 \text{ MW}} \right) \times 100 \% \\ &= 21,17 \% \end{aligned}$$

$$df = 50 \text{ Hz} - 48,9861 \text{ Hz} = 1,0139 \text{ Hz}$$

$$dt = 2,249 \text{ s} - 1 \text{ s} = 1,249 \text{ s}$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{1,014}{1,249} = 0,812 \text{ Hz/s}$$

Berikut grafik persamaan linier pada beban yang hilang pada saat gangguan dan besar penurunan frekuensi (df):



**GAMBAR 9** PERSAMAAN LINEAR PLTA POSO-2 DALAM LWBP

Sehingga Indeks Kekuatan Sistem Sulbagsel Tanggal 17 Desember 2016 pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) adalah sebagai berikut:

*IKS Sistem*

$$\begin{aligned} &= P_{\text{beban puncak tertinggi}} \times \text{Persamaan Linear } P_{\text{bebanhilang}} \text{ dan } df \\ &= 983,06 \text{ MW} \times 0,048 \\ &= 47,19 \text{ MW/Hz} \end{aligned}$$

Dengan demikian bearnnya Indeks Kekuatan Sistem Sulbagsel pada tanggal 17 Desember 2016 tepatnya pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) pukul 14.00 WITA dengan tiga skenario gangguan pada PLTA Poso-2 adalah 47,19 MW/Hz.

**5. KESIMPULAN**

Setelah melakukan kegiatan mengenai Indeks Kekuatan Sistem (IKS) Sulbagsel pada saat gangguan di PLTA Poso 3 x 65 MW dalam Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dengan menggunakan tiga skenario gangguan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Indeks Kekuatan Sistem (IKS) Sulbagsel pada saat terjadi gangguan di PLTA Poso-2 dalam Waktu Beban Puncak (WBP) tepatnya tanggal 17 Desember 2016 pukul 19.00 WITA yaitu sebesar 55,05 MW/Hz.
- b. Indeks Kekuatan Sistem (IKS) Sulbagsel pada saat terjadi gangguan di PLTA Poso-2 dalam Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) tepatnya tanggal 17 Desember 2016 pukul 14.00 WITA yaitu sebesar 47,19 MW/Hz.

**6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Politeknik Negeri Ujung Pandang atas dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

**7. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Poso Energy, 2012, " *History*", PT. Poso Energy.
- [2] PT PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Suselrabar, 2016, " *Evaluasi Operasi Tahun 2017*", PT PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Suselrabar.
- [3] M.M.Eissa, A.A.Ali, K.M.Abdel-Latif and A.F.Al-Kady, 2019, " *A frequency control technique based on decision tree concept by managing thermostatically controllable loads at*



- smart grids*”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 108, June 2019, Pages 40-51.
- [4] RUPTL, 2016. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Tahun 2016 – 2025*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [5] Asnil, \_\_\_\_\_, ” Pengaturan frekuensi pada Generator”, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeristas Negeri Padang (UNP)
- [6] Patriandari, 2010, ” *Analisis Pengoperasian speed droop governor sebagai pengaturan frekuensi pada sistem kelistrikan PLTU Gresik*”, Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus ITS, Keputih-Sukolilo, Surabaya.
- [7] Hardiyanto Labulu, Fielman Lisi, dan Maickel Tuegeh, 2015, ” *Analisa Sistem Tenaga Listrik Di Minahasa Dalam Menghindari Padam Total*”, E-journal Teknik Elektro dan Komputer.
- [8] Hari Prasetijo, Ropiudin dan Budi Dharmawan, 2012, ” *Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah*”, Dinamika Rekayasa Vol. 8 No. 2.
- [9] Andika1, Amir Hamzah, 2018, ” *Perancangan dan Pembuatan generator fluks radial tiga fasa magnet permanen kecepatan rendah*”, Jurnal Jom FTEKNIK Volume 5 No. 1.
- [10] Alpensus Joni, 2013, ” *Pemanfaatan motor induksi satu fasa sebagai generator*”, Tugas akhir, Program studi Teknik elektro, fakultas sains dan tehnologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.