

## ANALISIS KONTINGENSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK SULAWESI UTARA - GORONTALO

Ekoriskiyanto<sup>1</sup>, Yasin Mohamad<sup>2</sup>, Ervan Hasan Harun<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo

### Abstrak

*This research aims to determine changes in the stress conditions of each bus and the power flow changes that occur in the North Sulawesi - Gorontalo transmission system when there is a transmission line being released based on power flow calculations by comparing the simulation results to the normal conditions and contingency conditions of the transmission line. The methods used are the Newton-Raphson power flow method and the Line MVA Performance Index method ( $PI_{MVA}$ ). Performance Index calculations are performed to show the influence of contingency on the system using the results of the power flow analysis. Power flow simulation is carried out on the transmission system 150 kV and 66 kV Sulawesi Utara – Gorontalo with various load conditions namely low load, medium load, and peak load.*

**Keywords:** Analisis Kontingensi, Performance Indeks, aliran daya, metode Newton-Raphson

### 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik bertujuan untuk menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara andal dan terus menerus kepada beban. Bila ditinjau secara umum, keandalan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk memberikan pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang memuaskan. Oleh karena itu, dalam pengoperasian sistem tenaga listrik perlu strategi sebaik-baiknya agar sistem tetap mampu bertahan akibat adanya kendala-kendala yang ada, termasuk gangguan karena terjadi lepasnya salah satu saluran transmisi.

Gangguan yang berupa lepasnya salah satu elemen sistem adalah gangguan yang sepenuhnya tidak dapat dihindari. Hal inilah dapat mengubah komponen – komponen ketenagalistrikan. Lepasnya elemen sistem dapat terjadi karena gangguan atau karena pemeliharaan. Sistem interkoneksi Sulawesi Utara – Gorontalo merupakan sistem interkoneksi antara pusat pembangkit satu dengan pusat pembangkit lainnya dengan

harapan pasokan tenaga listrik masih tetap berjalan apabila salah satu pembangkit mengalami gangguan. Sistem ini memberikan pelayanan tenaga listrik di provinsi Sulawesi Utara dan provinsi Gorontalo yang terhubung melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV dan 66 kV. Namun, gangguan lepasnya salah satu saluran transmisi mungkin terjadi, sehingga dapat mengganggu proses penyaluran tenaga listrik. Dengan demikian perlu dilakukan analisis kontingensi untuk mengetahui dampak dari lepasnya salah satu saluran transmisi.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis kontingensi sistem interkoneksi Sulawesi Utara – Gorontalo yang terhubung melalui sistem transmisi 150 kV dan 66 kV, dimana perhitungannya akan melihat batasan-batasan operasi seperti tegangan bus yang melanggar batasan yang ditetapkan dan kapasitas pembebanan saluran. Hasil akhir dari analisis ini berupa menunjukkan saluran transmisi yang memiliki dampak terhadap keamanan operasi sistem tenaga listrik apabila terjadi gangguan pada lokasi saluran tersebut.

### II. METODE PENELITIAN

#### 2.1 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis ini juga memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat.

Di dalam studi aliran daya, bus-bus dibagi dalam 3 macam, yaitu :

- Slack bus* atau *swing bus*. *Slack bus* berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya real P dan daya reaktif Q pada sistem . Parameter yang ditentukan adalah harga skalar  $|V|$  dan sudut fasanya  $\theta$ , sedangkan yang tidak diketahui adalah daya real P dan daya reaktif Q.

- b. *Voltage controlled* bus atau bus generator. Parameter yang ditentukan adalah daya real P dan harga skalar tegangan  $|V|$ , sedangkan parameter yang tidak diketahui adalah daya reaktif Q dan sudut fasanya  $\theta$ .
- c. Load bus atau bus beban. Parameter yang ditentukan adalah daya real P dan daya reaktif Q, sedangkan parameter yang tidak diketahui adalah harga skalar  $|V|$  dan sudut fasanya  $\theta$ .

**1.2 Pemodelan Sistem Tenaga**  
**Pemodelan Generator Sinkron**

Untuk analisis aliran daya, generator sinkron dimodelkan dengan sumber daya aktif tertentu dan tegangan terminal yang konstan jika limit pembangkitan daya reaktif tidak dilanggar. Pada bus referensi, generator dinyatakan dengan tegangan dan sudut fasa yang tetap.

Pada pemodelan ini, limit daya reaktif dapat diawasi. Ketika limit tersebut dilewati, maka tegangan terminal akan dibiarkan bervariasi dan daya reaktif ditahan pada nilai limitnya tersebut

**Pemodelan Saluran Transmisi**

Dalam sistem tenaga, saluran transmisi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu (Nofendra,2008):

- Saluran pendek (sampai dengan 80 km)
- Saluran menengah (antara 80 km sampai dengan 200 km)
- Saluran panjang (lebih dari 200 km).

Pada pemodelan saluran pendek, kapasitansi *shunt* saluran dapat diabaikan sehingga dapat direpresentasikan dengan impedansi seri. Sedangkan untuk saluran menengah dan saluran panjang, dimodelkan dengan menggunakan rangkaian  $\Pi$  ekuivalen.

**Pemodelan Beban**

Model beban statis adalah model yang merepresentasikan daya aktif dan reaktif sebagai fungsi dari tegangan bus dan frekuensi. Respons beban statis terhadap perubahan tegangan dan frekuensi tercapai dengan cepat, sehingga cenderung kondisinya dalam keadaan tunak.

**Pemodelan Transformator**

Pada trafo daya, arus melalui reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ) dan rugi inti besi ( $R_m$ ) jauh lebih kecil dibandingkan dengan arus beban, sehingga  $X_m$  dan  $R_m$  dapat diabaikan. Dengan kata lain sirkuit eksitasi pada trafo daya dapat

diabaikan, sehingga dimodelkan sebagai impedansi Z.

**1.3 Metode Newton – Rapshon**

Metode Newton-Rhapson menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus.

Persamaan umum dari arus yang menuju bus i  
 $I_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j$  ..... (1)

Persamaan diatas bila ditulis dalam bentuk polar adalah :

$I_i = V_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_j + \delta_j$  ..... (2)

Daya kompleks pada bus i adalah :

$P_i - jQ_i = V_i^* I_i$  ..... (3)

sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2) ke persamaan (3) di atas didapatkan :

$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \cdot \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_j + \delta_j$  ... (4)

Nilai-nilai P dan Q dapat ditetapkan untuk semua bus kecuali slack bus dan memperkirakan besar dan sudut tegangan pada setiap bus kecuali slack bus yang mana besar dan sudut tegangan telah ditentukan. Nilai perkiraan ini akan digunakan untuk menghitung nilai P dan Q dengan menggunakan persamaan di atas, sehingga didapatkan :

$\Delta P = P^{spec} - P^{calc}$  ..... (5)

$\Delta Q = Q^{spec} - Q^{calc}$  ..... (6)

Pada slack bus nilai magnitude tegangan (V) dan sudut tegangan ( $\delta$ ) adalah tetap, sehingga tidak dilakukan perhitungan pada setiap iterasinya. Sedangkan pada generator bus, daya aktif (P) dan magnitude tegangan (V) bernilai tetap. Sehingga hanya daya reaktif yang dihitung pada setiap iterasinya. Matrik Jacobian terdiri dari turunan parsial P dan Q terhadap masing-masing variabel dalam persamaan di atas. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$  ..... (7)

Submatrik J1, J2, J3, J4 menunjukkan turunan parsial dari persamaan di atas terhadap  $\delta$  dan V yang bersesuaian, dan secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

Nilai untuk elemen J1 adalah :  
 $\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \text{Sin}(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$  .. (8)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \dots (9)$$

Nilai untuk elemen J2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}|\cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq 1} |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots (10)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad J \neq 1 \dots (11)$$

Nilai untuk elemen J3 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq 1} |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots (12)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad J \neq 1 \dots (13)$$

Nilai untuk elemen J4 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}|\sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq 1} |V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots (14)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad J \neq 1 \dots (14)$$

Setelah seluruh persamaan diselesaikan, maka nilai koreksi magnitude dan sudut tegangan ditambahkan ke nilai sebelumnya.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \dots (15)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^k| + |\Delta V_i^k| \dots (16)$$

Proses iterasi kembali lagi ke proses awal dan hal ini terus diulangi sampai  $\Delta P_i^k$  dan  $\Delta Q_i^k$  untuk semua bus (selain slack bus) memenuhi harga toleransi yang diberikan (biasanya diambil  $\leq 0.0001$ ).

Jadi iterasi akan selesai bila,

$$\Delta P_i^k \leq 0.0001 \dots (17)$$

$$\Delta Q_i^k \leq 0.0001 \dots (18)$$

### 1.4 Analisis Kontingensi

Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator dan atau transmisi. Istilah ini berkaitan erat dengan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk melayani beban apabila terjadi gangguan pada salah satu komponennya. Analisis kontingensi dapat dibedakan menjadi dua yaitu analisis kontingensi tunggal (*single contingencies*) dan kontingensi jamak (*multiple contingencies*), analisis kontingensi tunggal terjadi, setelah salah satu saluran transmisi atau transformator atau generator dilepaskan yang kemungkinan direncanakan untuk perbaikan, penjadwalan operasi pemeliharaan rutin, maupun terpaksa karena kondisi cuaca, atau karena gangguan, sedangkan analisis kontingensi jamak adalah jika dua atau lebih saluran keluar atau jatuh karena gangguan secara serentak, atau jika sebuah saluran jatuh dan terjadinya gangguan

unit pembangkit dalam memasok tenaga listrik ke beban.

Analisis kontingensi merupakan perhitungan yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh gangguan terhadap perubahan tegangan bus dan aliran daya saluran. Penganalisaan dilakukan dengan membandingkan aliran daya dalam kondisi normal dengan aliran daya dalam berbagai kondisi yang mungkin terjadi dalam sistem dimasa yang akan datang dengan melakukan berbagai kontingensi.

### 1.5 Kuantitas Per-Unit

Untuk mempermudah perhitungan atau analisa pada sistem tenaga listrik biasanya dipakai nilai-nilai dalam per-satuan (per-unit). Besaran per-unit didefinisikan sebagai berikut (Cahayati dan Nedi, 2008):

$$\text{Per-unit} = \frac{\text{Besaran Yang Sesungguhnya}}{\text{Besaran Dasar}} \dots (19)$$

Dengan demikian nilai dari besaran per-unit merupakan nilai yang telah di normalisasikan terhadap besaran dasar yang telah dipilih. Terdapat empat besaran yang sering diperhitungkan di dalam menganalisis sistem tenaga listrik, yaitu : daya, tegangan, arus, dan impedansi. Dengan memilih dua buah besaran (misalnya daya dan tegangan) sebagai besaran dasar, secara langsung dapat diperoleh besaran-besaran dasar yang lain. Dalam perhitungan sistem tenaga listrik, tegangan nominal saluran serta peralatan selalu diketahui, oleh sebab itu dipilih sebagai besaran dasar. Besaran dasar yang kedua yang biasa dipilih sebagai pedoman adalah daya (MVA).

Berikut rumus-rumus untuk macam-macam kuantitas:

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{\text{Dasar } kVA_{3\phi}}{\sqrt{3} \times \text{Tegangan Dasar, } kVA_{LL}} \dots (20)$$

$$\text{Impedansi Dasar, } \Omega = \frac{(\text{Tegangan Dasar } kVA_{LL})^2}{\text{Dasar } MVA_{3\phi}} \dots (21)$$

$$\text{Impedansi Per Unit, } = \frac{\text{Impedansi Sebenarnya, } \Omega}{\text{Impedansi Dasar, } \Omega} \dots (22)$$

$$\text{Tegangan Sebenarnya, } kV = \text{Tegangan Per Unit} \times \text{Tegangan Dasar, } kV \dots (23)$$

### 1.6 Metode Line MVA Performance Index

Kondisi beban sangat berpengaruh terhadap aliran daya pada saluran yang berbeda dan performa sistem. *Line MVA Performance Index (PI<sub>MVA</sub>)* adalah metode

untuk mengindikasikan peringkat *overloads* pada saluran. Didefinisikan sebagai berikut:

$$PI_{MVA} = \sum_{i=1}^{N_L} \frac{W_{Li}}{M} \cdot \left( \frac{Si_{post}}{Si_{Max}} \right)^M \dots\dots\dots (24)$$

Keterangan :

$PI_{MVA}$  = Performance Index

$Si_{post}$  = Daya yang mengalir pada suatu saluran setelah terjadi kontingensi (MVA)

$Si_{Max}$  = kemampuan MVA daya hantar (*rating* MVA)

$N_L$  = Jumlah saluran dalam sistem tenaga listrik

$W_{Li}$  = Faktor real non-negative weighting (=1)

$M$  = Urutan eksponen untuk *penalty function* (=2)

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilihat perubahan kondisi tegangan tiap bus dan perubahan aliran daya yang terjadi pada sistem transmisi Sulawesi Utara - Gorontalo ketika terjadi lepasnya salah satu saluran transmisi berdasarkan perhitungan aliran daya. Kondisi tegangan dilihat berdasarkan Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sulawesi (Grid Code Sulawesi) yakni batas normal +5% atau -10% dari tegangan nominal dan juga akan dilihat pembebanan pada tiap saluran berdasarkan perubahan aliran daya. Objek pada penelitian ini adalah sistem transmisi 150 kV dan 66 kV SulutGo. Metode yang digunakan adalah metode aliran daya Newton-Rapshon.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data saluran, data beban, data bus pada sistem interkoneksi 150 kV dan 66 kV Sulawesi Utara - Gorontalo. Data ini merupakan data operasional pada bulan Mei 2017. Data tersebut diperoleh dari Area Penyaluran dan Pengatur Beban (AP2B) Sistem Minahasa, Tomohon Sulawesi Utara. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori, (buku, paper, jurnal ilmiah ) yang berkaitan dengan penelitian analisa kontingensi yang menggunakan Metode Newton Rapshon untuk perhitungan aliran daya.

### 2. Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan di Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Utara dan Gorontalo yaitu Area Penyaluran dan Pengatur Beban

(AP2B) Sistem Minahasa, Tomohon Sulawesi Utara.

### 3. Simulasi Sistem

Simulasi ini dilakukan bertujuan untuk melihat batasan-batasan seperti tegangan bus dan kapasitas pembebanan saluran pada sistem transmisi Sulawesi Utara-Gorontalo ketika terjadi lepasnya salah satu saluran transmisi. Analisa kontingensi yang dilakukan adalah lepasnya salah satu saluran transmisi yang tidak mengubah jumlah bus dari sistem. Perhitungan Performance Index dilakukan berdasarkan dari hasil perhitungan aliran daya Newton-Rapshon. Penganalisaan aliran daya pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan software Matlab melalui toolbox MatPower 6.0

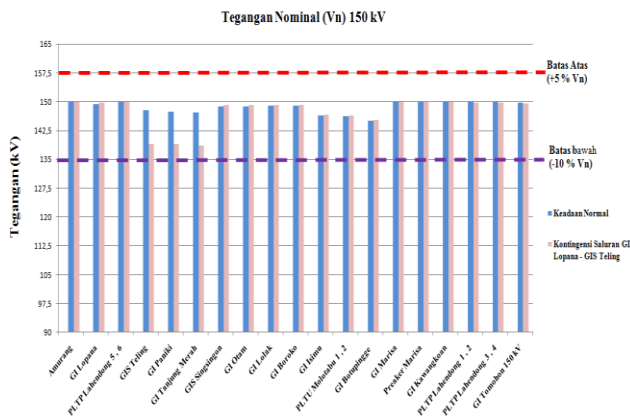
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan dipaparkan hasil perhitungan dengan membandingkan simulasi aliran daya pada keadaan normal dan keadaan kontingensi yang dipilih, serta hasil perhitungan Performansi Indeks. Sistem disimulasikan dalam berbagai kondisi beban pada tanggal 30 Mei 2017 yaitu beban rendah (waktu beban pagi pukul 05.00 WITA), beban sedang (waktu beban siang pukul 14.00 WITA), dan beban puncak (waktu beban malam pukul 18.30 WITA). Faktor daya pada beban sebesar 0,95.

### 4.1. Kondisi Beban Rendah

#### 4.1.1. Kontingensi Saluran GI Lopana -GIS Teling

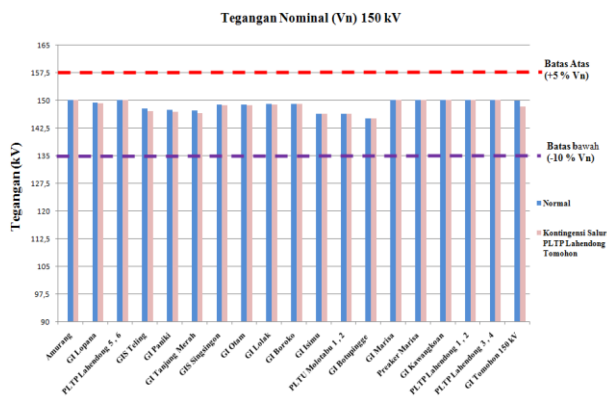
Untuk kondisi pertama dilakukan simulasi pada kondisi beban rendah, dimana sistem hanya dibebani 228,33 MW. Skenario kontingensi pertama terjadi pada saluran trnasmisi GI Lopana – GIS Teling. Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan profil tegangan sistem pada keadaan normal dan saat kontingensi terjadi.



Gambar 4.1 Tegangan Bus 150 kV keadaan normal dan kontingensi Saluran GI Lopana - GIS Teling Kondisi Beban Rendah

#### 4.1.2. Kontingensi Saluran PLTP Lahendong 3,4 – GI Tomohon

Skenario kontingensi kedua terjadi pada saluran transmisi PLTP Lahendong3,4 – GI Tomohon. Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan profil tegangan sistem pada keadaan normal dan saat kontingensi terjadi.

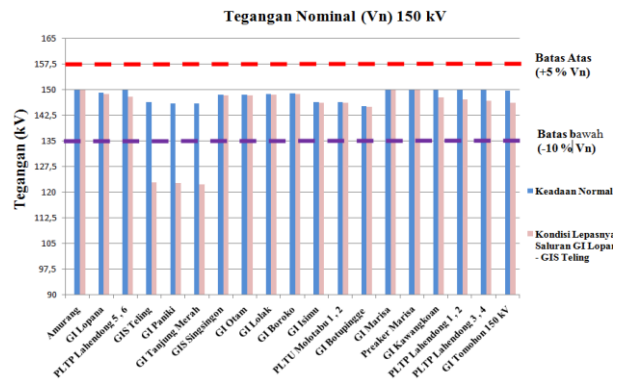


Gambar 4.2 Tegangan Bus 150 kV keadaan normal dan kontingensi Saluran PLTP Lahendong 3,4 – GI Tomohon Kondisi Beban Rendah

### 4.2. Kondisi Beban Sedang

#### 4.2.1. Kontingensi Saluran GI Lopana -GIS Teling

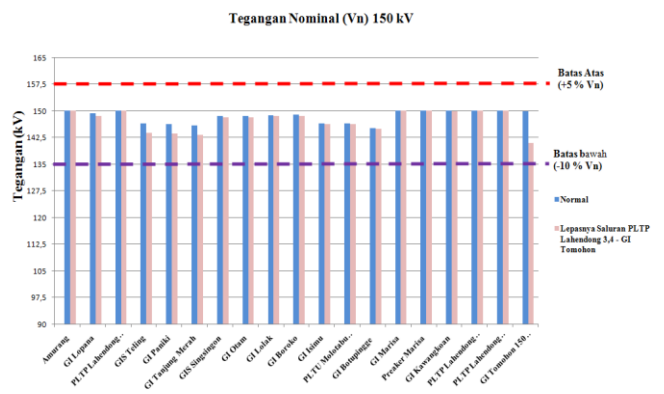
Untuk kondisi kedua dilakukan simulasi pada kondisi beban sedang, dimana sistem hanya dibebani 269,48 MW. Skenario kontingensi pertama terjadi pada saluran transmisi GI Lopana – GIS Teling. Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan profil tegangan sistem pada keadaan normal dan saat kontingensi terjadi



Gambar 4.3 Tegangan Bus 150 kV keadaan normal dan kontingensi Saluran GI Lopana - GIS Teling Kondisi Beban Sedang

#### 4.2.2. Kontingensi Saluran PLTP Lahendong 3,4 – GI Tomohon

Skenario kontingensi kedua terjadi pada saluran transmisi PLTP Lahendong3,4 – GI Tomohon. Setelah dilakukan simulasi daya, maka didapat hasil tegangan pada masing-masing bus . Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan profil tegangan sistem pada keadaan normal dan saat kontingensi terjadi

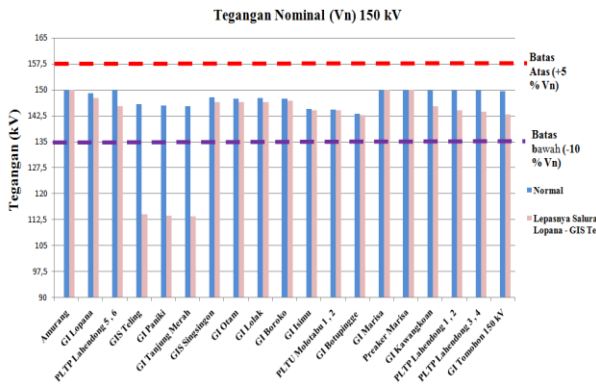


Gambar 4.4 Tegangan Bus 150 kV keadaan normal dan kontingensi Saluran PLTP Lahendong 3,4 – GI Tomohon Kondisi Beban Sedang

### 4.3. Kondisi Beban Puncak

#### 4.3.1. Kontingensi Saluran GI Lopana -GIS Teling

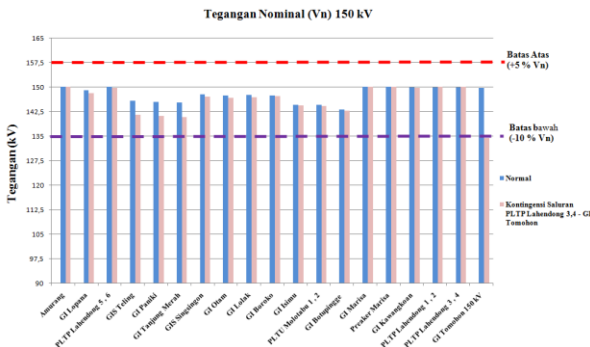
Untuk kondisi ketiga dilakukan simulasi pada kondisi beban puncak, dimana sistem hanya dibebani 325,88 MW. Skenario kontingensi pertama terjadi pada saluran transmisi GI Lopana – GIS Teling. Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan profil tegangan sistem pada keadaan normal dan saat kontingensi terjadi.



Gambar 4.5 Tegangan Bus 150 kV keadaan normal dan kontingensi Saluran GI Lopana - GIS Teling Kondisi Beban Puncak

### 4.3.2. Kontingensi Saluran PLTP Lahendong 3,4 – GI Tomohon

Skenario kontingensi kedua terjadi pada saluran transmisi PLTP Lahendong3,4 – GI Tomohon. Setelah dilakukan simulasi daya, maka didapat hasil tegangan pada masing-masing bus . Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan profil tegangan sistem pada keadaan normal dan saat kontingensi terjadi.



Gambar 4.6 Tegangan Bus 150 kV Keadaan Normal Dan Kontingensi Saluran PLTP Lahendong 3, 4 – GI Tomohon Kondisi Beban Puncak

### 4.4 Perhitungan Line MVA Performance Indeks

Pada sistem interkoneksi Sulawesi Utara – Gorontalo terdapat data penyaluran yaitu saluran transmisi dan trafo IBT yang melayani seluruh pembangkit untuk menyalurkan aliran daya ke seluruh bus beban. Dalam penelitian ini, kontingensi yang dilakukan adalah lepasnya salah satu saluran transmisi yang tidak mengubah jumlah bus sistem. Kondisi lepasnya salah satu saluran transmisi yang akan terjadi berdasarkan batasan masalah, kemungkinan sebanyak 22 kasus. Pada tabel

4.1, 4.2, 4.3 merupakan hasil perhitungan  $PI_{MVA}$  saat beban puncak, beban sedang dan beban rendah pada masing-masing kasus berdasarkan persamaan (24)

Tabel 4.1 Urutan Kontingensi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Line MVA Performance Index( $PI_{MVA}$ ) Kondisi Beban Puncak

No	Kasus Kontingensi	$PI_{MVA}$
1	GI Lopana - GIS Teling	2,268999038
2	PLTP Lhdg 3,4 - GI Tomohon	1,415854016
3	PLTP Lhdg 1,2 - PLTP Lhdg 3,4	0,961052144
4	GI Lopana - GIS Singasingon	0,790787736
5	GI Isimu - GI Marisa	0,691510789
6	GI Kawangkoan-PLTP Lhdg 1,2	0,687599783
7	GI Ranomout - GI Sawangan	0,665669428
8	GI Teling - GI Ranomout	0,66220683
9	GI Teling - GI Tomohon	0,65228256
10	GI Sawangan - GI Tonselama	0,630143217
11	GI Tomohon - GI Tonselama	0,624742177
12	GI Buroko - GI Marisa	0,619454627
13	GI Ismu - GI Botupingge	0,616233678
14	GI Buroko - GI Isimu	0,612775982
15	GI Lopana - GIS Otam	0,612739175
16	PLTU Molotabu -GI Botupingge	0,604910954
17	GI Bitung - GI MSM	0,604209404
18	GI Lopana - GI Kawangkoan	0,597018515
19	GI Bitung - GI Likupang	0,594404871
20	GI Isimu - PLTU Molotabu	0,592042489
21	GIS Singasingon - GI Otam	0,591358062
22	GI MSM - GI Likupang	0,580372102

Tabel 4.2 Urutan Kontingensi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Line MVA Performance Index( $PI_{MVA}$ ) Kondisi Beban Sedang

No	Kondisi Kasus	$PI_{MVA}$
1	GI Lopana - GIS Teling	1,683449932
2	PLTP Lhdg 3,4 - GI Tomohon	0,945343323
3	PLTP Lhdg 1,2 - PLTP Lhdg 3,4	0,631544935
4	GI Lopana - GI Kawangkoan	0,527985024
5	GI Teling - GI Tomohon	0,519860261
6	GI Isimu - GI Marisa	0,512073501
7	GI Ranomout - GI Sawangan	0,511514378

8	GI Buroko - GI Marisa	0,478589485
9	GI Telin - GI Ranomout	0,466680925
10	GI Sawangan - GI Tonselama	0,459492677
11	GI Kawangkoan-PLTP Lhdg 1,2	0,458266471
12	GI Bitung - GI MSM	0,453717601
13	GI Ismu - GI Botupingge	0,452497189
14	GI Tomohon - GI Tonselama	0,449800198
15	PLTU Molotabu -GI Botupingge	0,447606621
16	GI Bitung - GI Likupang	0,444041019
17	GI Lopana - GIS Singسیون	0,439603524
18	GI Lopana - GIS Otam	0,439187682
19	GI Isimu - PLTU Molotabu	0,437800613
20	GI MSM - GI Likupang	0,43765028
21	GI Buroko - GI Isimu	0,437263758
22	GIS Singسیون - GI Otam	0,433628286

Tabel 4.3 Urutan Kontingensi Saluran Transmisi Menggunakan Metode *Line MVA Performance Index*( $PI_{MVA}$ ) Kondisi Beban Rendah

No	Kondisi Kasus	$PI_{MVA}$
1	GI Lopana - GIS Teling	0,754463073
2	GI Lopana - GI Kawangkoan	0,615706114
3	PLTP Lhdg 3,4 - GI Tomohon	0,447091777
4	GI Isimu - GI Marisa	0,342904871
5	GI Buroko - GI Marisa	0,314176093
6	GI Ranomout - GI Sawangan	0,308286552
7	PLTP Lhdg 1,2 - PLTP Lhdg 3,4	0,294174821
8	GI Ismu - GI Botupingge	0,290347675
9	GI Teling - GI Tomohon	0,288973511
10	GI Kawangkoan-PLTP Lhdg 1,2	0,284609721
11	GI Bitung - GI MSM	0,283420404
12	GI Telin - GI Ranomout	0,28138774
13	PLTU Molotabu-GI Botupingge	0,279904724
14	GI Bitung - GI Likupang	0,275073899
15	GI Sawangan - GI Tonselama	0,274639316
16	GI Lopana - GIS Otam	0,273915665
17	GI Buroko - GI Isimu	0,27351063
18	GI Isimu - PLTU Molotabu	0,269548455
19	GI MSM - GI Likupang	0,269169249
20	GIS Singسیون - GI Otam	0,267058209
21	GI Tomohon - GI Tonselama	0,266691142
22	GI Lopana - GIS Singسیون	0,265993195

Berdasarkan perhitungan  $PI_{MVA}$  pada tabel 4.1, 4.2, 4.3 dapat diklasifikasikan bahwa saluran GI Lopana – GIS Teling adalah saluran yang paling berpengaruh pada sistem ketika lepas, karena memiliki nilai PI yang besar, terutama pada saat beban puncak. Nilai PI merupakan representasi tingkat keparahan yang ditimbulkan oleh suatu kasus tanpa memberikan informasi tentang jumlah, letak, atau besarnya saluran yang *overload* dan atau bus yang *undervoltage*. Makin besar nilai PI, makin besar pula dampak dari lepasnya suatu saluran transmisi dibandingkan saluran yang lain.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Rapshon pada sistem transmisi Sulawesi Utara–Gorontalo, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kontingensi saluran transmisi pada sistem interkoneksi Sulawesi Utara – Gorontalo menyebabkan penurunan tegangan pada beberapa bus.
  - a. Kontingensi saluran transmisi GI Lopana – GIS Teling pada saat beban sistem 228,33 MW, tidak mengakibatkan besaran tegangan melewati batas tegangan (<90% Tegangan Nominal), saat beban sistem 269,48 MW, 6 bus 66 kV dan 2 bus 150 kV melewati batas tegangan yang ditetapkan, sedangkan pada saat beban sistem 325,88 MW, 11 bus 66 kV, 2 bus 30 kV, dan 3 bus 150 kV melewati batas tegangan yang ditetapkan.
  - b. Kontingensi saluran transmisi PLTP Lahenodng 3,4 – GI Tomohon saat kondisi beban sistem 228,33 MW dan 269,48 MW, tidak mengakibatkan besaran tegangan melewati batas tegangan (<90% Tegangan Nominal), sedangkan pada kondisi beban sistem 325,88 MW, 7 bus 66 kV, dan 1 bus 150 kV melewati batas tegangan yang telah ditetapkan.
2. Kondisi aliran daya saat kontingensi saluran transmisi berubah, sehingga pembebanan pada saluran transmisi dan IBT (150/66 kV) meningkat.
  - a. Kontingensi saluran transmisi GI Lopana – GIS Teling pada saat kondisi beban sistem 228,33 MW, IBT masih

- dalam keadaan aman. Saat kondisi beban sistem 269,48 MW, pembebanan pada IBT Tomohon 126,917 MVA (*overload*) dengan presentase 105,76 %. Pada kondisi beban sistem 325,88 MW, pembebanan pada IBT Tomohon sebesar 153,631 MVA (*overload*) dengan presentase 128,03 % serta IBT Teling sebesar 56,387 MVA dengan presentase 93,98 % dan pembebanan semua saluran transmisi dalam keadaan aman.
- b. Kontingensi saluran transmisi PLTP Lahendong 3,4 – GI Tomohon mengakibatkan suplai daya dari sisi tegangan 150 kV ke 66 kV hanya disuplai melalui IBT Teling dengan perubahan nilai pembebanan yang berbeda pada tiap kondisi. Pada kondisi beban sistem 228,33 MW, pembebanan pada IBT Teling sebesar 35,145 MVA dengan presentase 58,58 %. Pada kondisi beban sistem 269,48 MW, pembebanan pada IBT Teling sebesar 63,82 MVA (*overload*) dengan presentase 106,37 %. Pada kondisi beban sistem 325,88 MW, pembebanan pada IBT Teling sebesar 82,521 MVA (*overload*) dengan presentase 137,51 %
3. Berdasarkan perhitungan  $PI_{MVA}$  diketahui bahwa pada kondisi beban 325,88 MW, nilai PI terbesar yaitu 2,268999038 pada saluran GI Lopana – GIS Teling, dan nilai PI terkecil yaitu 0,580372102 pada saluran GI MSM – GI Likupang. Pada kondisi beban 269,48 MW, nilai PI terbesar yaitu 1,683449932 pada saluran GI Lopana – GIS Teling, dan nilai PI terkecil yaitu 0,433628286 pada saluran GI MSM - GI Likupang. Pada kondisi beban 228,33 MW, nilai PI terbesar yaitu 0,754463073 pada saluran GI Lopana – GIS Teling, dan nilai PI terkecil yaitu 0,265993195 pada saluran GI Lopana - GIS Singsingon .
- Harun, E.H. 2013. *Bahan Ajar Analisis Sistem Tenaga Listrik (Revisi 2013)*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- Harun, E.H. dan T.I. Yusuf. 2012. *Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik 150kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton Raphson*. Laporan Penelitian PNBPN 2012.
- Hermawan, A. 2007. *Analisis Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Aliran Daya*. *Jurnal ELTEK*, Volume 05 Nomor 01, April 2007 ISSN 1693-4024. Politeknik Negeri Malang.
- Indriyani, R.D. 2017. *Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Utara – Gorontalo Menggunakan Metode Fast Decoupled*. *Skripsi*. Program studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- Kevinamarta, D. dan T. Wrahatnolo. 2017. *Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik Subsistem Krian – Gresik 150 Kv dengan Metode Analisis Kontingensi (N-1)*. *Jurnal Teknik Elektro*. Volume 06 Nomor 01:0-8 . Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Mohamad, Y. 2007. *Analisis Kontingensi Tunggal akibat putusnya Saluran Transmisi (Studi Kasus Sistem Jawa Tengah DIY)*. *Jurnal Teknik*, Volume 5 No.2 2007. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- Nofendra, R. 2008. *Penentuan Operasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Performace Index (Kasus : Sistem Tenaga Sumbar-Riau )*. *Jurnal Teknik A* No. 29 Vol.2 Thn. XV April 2008:80-90. Universitas Andalas Padang. Padang.
- Palasworo, F.J. dan A. Widiatoro. 2018. *Analisis Kontingensi Saluran Transmisi Pada Jaringan Transmisi 150 kV*. *Jurnal*. Program Studi Teknik Elektro FT, UM-Surabaya.

#### Daftar Pustaka

- Amin, N. 2011. *Perbandingan Metode Gauss-Siedel Dan Metode Newton-Raphson Dalam Solusi Aliran Daya*. *Jurnal SMARTek*, Vol. 9 No. 3:212-222. Universitas Tadulako. Palu.
- Cahayati, dan O. Nedi. 2008. *Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik Dengan menggunakan Power World Simulator (Aplikasi SUTT 150 kV SumbagTeng)*. *Jurnal Teknos-2k*, Vol 8. No. 1 Januari : 212-222. Universitas Bung Hatta. Padang.