

# SIMULASI ALIRAN DAYA BERBASIS ETAP MENGUNAKAN METODE *NEWTON- RAPHSON* PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PENYULANG LATERI 2 DAN LATERI 3

Marceau A F Haurissa

*Politeknik Negeri Ambon*

haurissamarceau@gmail.com

**Abstract-** Power flow analysis in an electric power system is one way that can be used to determine the condition of the system whether it is in a normal state or not and is also needed in system planning when additional loads occur. Through power flow analysis, system characteristics such as power, voltage and power factor can be known so that abnormal conditions in the system such as power losses and voltage drops can be identified. Lateral 2 and Lateral 3 are supplied by the Passo Substation which is interconnected with GH Hative Kecil. Lateral 3 is a by-pass from Passo Substation to GH Hative Kecil. Power flow simulation is carried out using the Newton-Raphson method in the ETAP application. There are several conditions in the test, namely at Peak Load Time (WBP) and Outside Peak Load Time (LWBP) conditions, and when connected and not connected to GH Hative Kecil. The simulation results show that the voltage drop (under voltage) and the greatest losses occur when the lateri 3 extension is connected to GH Hative Kecil with a voltage drop of 92.96% and technical losses of 244.1 kW and VAR losses of 171.3kvar.

**Keywords:** Power flow; Power Loss; Voltage drop; Distribution Line

**Abstrak-** Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi sistem apakah dalam keadaan normal atau tidak dan juga dibutuhkan dalam perencanaan sistem apabila terjadi penambahan beban. Melalui analisa aliran daya karakteristik sistem diantaranya daya, tegangan dan faktor daya dapat diketahui sehingga kondisi abnormal dalam sistem seperti rugi daya (*losses*) dan jatuh tegangan dapat diidentifikasi. Penyulang lateri 2 dan lateri 3 merupakan penyulang yang disuplai oleh Gardu Induk Passo yang terinterkoneksi dengan GH Hative Kecil. Penyulang lateri 3 merupakan penyulang *by pass* dari GI Passo ke GH Hative Kecil. Simulasi Aliran daya dilakukan menggunakan metode Newton-Raphson pada aplikasi ETAP. Terdapat beberapa kondisi dalam pengujian yaitu pada kondisi Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), dan saat terhubung dan tidak terhubung dengan GH Hative Kecil. Hasil simulasi menunjukkan jatuh tegangan (under voltage) dan losses paling besar terjadi saat penyulang lateri 3 terhubung dengan GH Hative Kecil dengan jatuh tegangan mencapai 92.96% dan *losses* teknis sebesar 244.1 kW dan *losses* VAR sebesar 171.3kvar.

**Kata Kunci:** Aliran daya; Rugi Daya; Drop tegangan; Saluran Distribusi

## I. PENDAHULUAN

Proses terjadinya Aliran daya pada suatu Sistem Tenaga Listrik adalah menentukan tegangan, arus, daya aktif dan reaktif pada Sistem tenaga Listrik yang nantinya indikator analisis tersebut akan menjadi acuan dengan melihat prosesnya guna menjaga pengoperasian jaringan listrik selalu dalam keadaan baik dan stabil hingga waktu yang lama.[1]

Analisis aliran daya merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem dalam keadaan normal, sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang ada.[2]

Pendistribusian energi listrik, rugi-rugi daya seringkali menjadi permasalahan yang ditimbulkan oleh panjang dan luas penampang yang menyebabkan terjadinya penurunan tegangan yang melebihi dari batas toleransi yang diijinkan.[3]

Besarnya rugi-rugi daya pada saluran distribusi tergantung pada jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, tipe beban, faktor daya dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban yang bersifat induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif.[4]

Turun tegangan merupakan banyaknya tegangan yang hilang pada suatu saluran/jaringan tenaga listrik. Secara umum jatuh tegangan atau drop tegangan yang terjadi sepanjang jaringan tenaga listrik berbanding lurus dengan panjang saluran dan berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar yang digunakan pada saluran/jaringan

itu. Jatuh tegangan juga dapat didefinisikan sebagai selisih antara tegangan pada ujung pengirim dengan tegangan pada ujung penerima. Aplikasi ETAP merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mendesain, menganalisis dan melakukan simulasi aliran daya pada sistem tenaga listrik yang dapat menghitung dan menginformasikan kondisi tegangan di setiap bus, faktor daya, rugi daya pada saluran, aliran daya aktif dan reaktif dan juga arus saluran.[5]

Penyulang lateri 2 dan lateri 3 disuplai dari Gardu Induk Passo yang terinterkoneksi dengan GH Hative Kecil. Konfigurasi jaringan kedua penyulang tersebut adalah konfigurasi jaringan radial. Penyulang lateri 3 merupakan penyulang *by pass* dari GI Passo ke GH Hative Kecil, sedangkan penyulang lateri 2 memiliki beban disepanjang jaringan dan interkoneksi dengan GH Hative Kecil. GH Hative Kecil disuplai oleh PLTD Hative Kecil dan selain interkoneksi dengan penyulang lateri 2 dan lateri 3, juga melayani beberapa beban penyulang lain diantaranya penyulang rijali, penyulang MCM, penyulang latei 1, dan penyulang tantui atas.

Penyulang lateri 3 (PL3) merupakan penyulang *by pass* yang menuju GH Hative Kecil untuk membantu menyuplai daya pada percabangan penyulang. Sama seperti penyulang lateri 2, namun pada penyulang lateri 3 hanya bersifat penyulang *by pass* yang tidak memiliki beban di sepanjang jaringan dari GI Passo hingga PLTD/GH Hative Kecil. Panjang jaringan penyulang lateri 3 kurang lebih 9,43 km yang dipasang pada jaringan STUM. Penyulang lateri 3 dapat dikatakan sangat panjang dan tanpa beban, yang dihubungkan dari GI Passo ke GH Hative Kecil. Luas penampang penyulang lateri 3 adalah sebesar 30mm<sup>2</sup>, begitu pula penyulang lateri 2 dengan diameter penghantar rata-rata 30mm. Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui profil tegangan dan rugi-rugi teknis pada penyulang lateri 2 dan penyulang lateri 3.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Panjang jaringan penyulang lateri 3 kurang lebih 9,43 km yang dipasang pada jaringan STUM. Penyulang lateri 3 dapat dikatakan sangat panjang dan tanpa beban, yang dihubungkan dari GI Passo ke GH Hative Kecil. Luas penampang penyulang lateri 3 adalah sebesar 30mm<sup>2</sup>.



Gambar 1. Penyulang Lateri 3 (*by pass*)

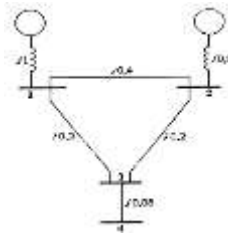
### 2.1 Terminal Bus dan Matrik Admitansi Bus

Bus referensi (Swing atau Slack bus) Bus ini berfungsi untuk mensuplai kekurangan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dalam sistem. Parameter atau besaran yang di tentukan adalah tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ). Setiap sistem tenaga listrik hanya terdapat 1 bus referensi, yaitu bus yang didalamnya terdapat pembangkit atau generator yang memiliki kapasitas terbesar di antara pembangkit yang lain didalam sistem.

Bus generator (Voltage Control Bus) Bus ini merupakan bus yang tegangannya dapat dikontrol melalui pengaturan daya reaktif agar tegangannya tetap. Parameter atau besaran yang diketahui adalah daya aktif (P) dan tegangan (V). Bus ini dinamakan PV bus.

Bus Beban (Load bus) Bus ini adalah bus yang terhubung dengan beban sistem. Parameter atau besaran yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), maka bus ini di sebut juga PQ bus.

Untuk menghitung dan menganalisis aliran daya, langkah awal yang dilakukan adalah membentuk matrik admitansi bus sistem tenaga listrik. Gambar 2.1 berikut ini merupakan sebuah contoh sistem tenaga listrik sederhana, dimana impedansinya dinyatakan dalam perunit pada dasar MVA dan resistansi diabaikan untuk penyederhanaan.[6]

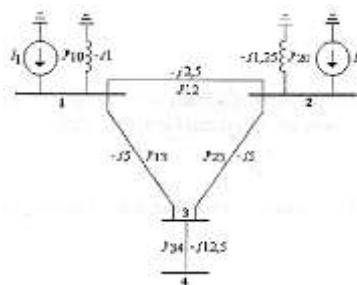


Gambar 2. Diagram impedansi pada sistem tenaga listrik sederhana

Berdasarkan Hukum Arus Kirchoff impedansi-impedansi pada gambar diatas dapat diubah ke bentuk admitansi-admitansi dengan menggunakan persamaan, berikut :

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan demikian gambar 1 dapat digambarkan kembali seperti gambar 2 dimana besaran admitansi-admitansi dan transformasi menjadi sumber arus. Sehingga dengan menerapkan hukum arus Kirchoff antara simpul dapat menghasilkan persamaan dibawah ini.



Gambar 3. Diagram admitansi untuk sistem tenaga listrik

$$I_1 = y_{10} V_1 + y_{12} (V_1 - V_2) + y_{13} (V_1 - V_3) \dots \dots \dots (2)$$

$$I_2 = y_{20} V_2 + y_{12} (V_2 - V_1) + y_{23} (V_2 - V_3) \dots \dots \dots (3)$$

$$0 = y_{23} (V_3 - V_2) + y_{13} (V_3 - V_1) + y_{34} (V_3 - V_4) \dots \dots \dots (4)$$

$$0 = y_{34} (V_3 - V_4) \dots \dots \dots (5)$$

Dengan menyusun persamaan diatas, maka diperoleh :

$$I_1 = (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 - y_{12}V_2 - y_{13}V_3 \dots \dots \dots (6)$$

$$I_2 = -y_{12}V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 - y_{23}V_3 \dots \dots \dots (7)$$

$$0 = -y_{13}V_1 - y_{23}V_2 + (y_{13} + y_{23} + y_{34})V_3 - y_{34}V_4 \dots \dots \dots (8)$$

$$0 = -y_{34}V_3 + y_{34}V_4 \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13} \dots \dots \dots (10)$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23} \dots \dots \dots (11)$$

$$Y_{33} = y_{13} + y_{23} + y_{34} \dots \dots \dots (12)$$

$$Y_{44} = y_{34} \dots \dots \dots (13)$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12} \dots \dots \dots (14)$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13} \dots \dots \dots (15)$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23} \dots \dots \dots (16)$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34} \dots \dots \dots (17)$$

Persamaan arus pada simpul akan menjadi :

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + Y_{14}V_4 \dots \dots \dots (18)$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4 \dots \dots \dots (19)$$

$$I_3 = Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + Y_{34}V_4 \dots \dots \dots (20)$$

$$I_4 = Y_{41}V_1 + Y_{42}V_2 + Y_{43}V_3 + Y_{44}V_4 \dots \dots \dots (21)$$

Pada jaringan diatas, karena tidak ada hubungan antara bus 1 dan 4, Sedangkan untuk sistem n-bus, persamaan arus simpul dalam bentuk matrik adalah :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \dots \dots \dots (22)$$

atau

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (23)$$

dimana  $I_{bus}$  adalah vektor arus bus yang diinjeksikan. Arus positif jika menuju bus dan negatif jika meninggalkan bus.  $V_{bus}$  adalah vektor tegangan bus yang diukur dari simpul referensi.  $Y_{bus}$  adalah matrik admitansi bus. Matrik admitansi bus ( $Y_{bus}$ ) di bentuk dari elemen diagonal masing-masing simpul dan diagonal antara simpul-simpul yang adalah sama dengan penjumlahan dari admitansi yang dihubungkan padanya sehingga disebut admitansi sendiri seperti pada persamaan (23).

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \quad (24)$$

Sedangkan elemen diagonal antara simpul adalah sama dengan admitansi yang dihubungkan padanya dengan tanda negatif, dan ini dikenal sebagai admitansi bersama yaitu :

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (25)$$

Jika arus bus diketahui, persamaan (23) dapat diselesaikan untuk tegangan n-bus sebagai berikut :

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \quad (26)$$

## 2.2 Persamaan aliran daya

Sistem jaringan tenaga listrik seperti pada gambar 3, saluran transmisinya dapat digambarkan dengan model  $\pi$  yang mana impedansinya diubah menjadi admitansi per unit pada *base* MVA. Sehingga dengan hukum arus *Kirchhoff* pada bus ini diberikan dalam persamaan :

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (27)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (28)$$

Sedangkan daya aktif dan daya reaktif pada bus I adalah

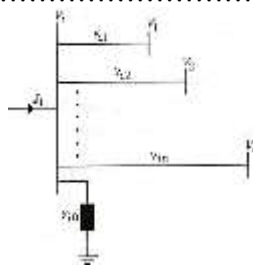
$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (30)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (31)$$

Jika disubstitusikan untuk  $I_i$  pada persamaan (28) diperoleh

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (32)$$



Gambar 4. Tipikal bus dari sistem tenaga listrik

## 2.3 Persamaan aliran daya dengan Metode *Newton-Raphson*

Metode *newton-Raphson* memiliki perhitungan lebih baik untuk sistem tenaga listrik yang besar karena lebih efisien dan praktis. Jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk memperoleh pemecahan masalah ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Sehingga berdasarkan gambar 3, dapat ditulis persamaan sebagai berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (33)$$

Persamaan ini jika ditulis dalam bentuk polar sebagai berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (34)$$

Daya kompleks pada bus I adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (35)$$

Jika substitusi dari persamaan (34) untuk  $I_i$  ke dalam persamaan (35) menghasilkan :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (36)$$

Jika pisah bagian real dan imajiner, maka diperoleh persamaan :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (37)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (38)$$

Persamaan (37) dan (38) membentuk persamaan aljabar nonlinier dengan variabel sendiri. Besarnya setiap variabel dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian. Jika dikembangkan dari deret *Taylor* dari persamaan (37) dan (38), maka diperoleh persamaan (39).

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k+1)} \\ \vdots \\ \Delta P_m^{(k+1)} \\ \vdots \\ \Delta Q_i^{(k+1)} \\ \vdots \\ \Delta Q_m^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_j} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_m^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_m^{(k)}}{\partial \delta_j} & \dots & \frac{\partial P_m^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial P_m^{(k)}}{\partial |V_j|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_j} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_j|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_m^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_m^{(k)}}{\partial \delta_j} & \dots & \frac{\partial Q_m^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial Q_m^{(k)}}{\partial |V_j|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k+1)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_j^{(k+1)} \\ \vdots \\ \Delta |V_i|^{(k+1)} \\ \vdots \\ \Delta |V_j|^{(k+1)} \end{bmatrix} \quad (39)$$

Jika bus 1 diumpamakan sebagai *slack bus*, maka matrik Jacobian akan dibuat dalam bentuk :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (40)$$

Banyaknya elemen matrik Jacobian persamaan (40) ditentukan dengan  $(2n-2- 2m) \times (2n-2-2m)$  dengan n adalah banyaknya bus pada sistem, dimana m adalah banyak *voltage controlled buses* pada sistem.  $J_1$  diperoleh dari  $(n-1) \times (n-1)$ ,  $J_2$  diperoleh dari  $(n-1) \times (n-1-m)$ ,  $J_3$  diperoleh dari  $(n-1- m) \times (n-1-m)$  dan  $J_4$  di peroleh dari  $(n-1-m) \times (n-1-m)$ . sehingga elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_1$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (41)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (42)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_2$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (43)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (44)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_3$  adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (45)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (46)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_4$  adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (47)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (48)$$

Harga dari  $\Delta P_i(k)$  dan  $\Delta Q_i(k)$  berbeda antara yang terjadwal dengan nilai perhitungan dan ini disebut sisa daya yang diberikan dengan :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (49)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (50)$$

Perhitungan untuk sudut fasa dan tegangan bus yang baru adalah :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (51)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (52)$$

Penyelesaian studi aliran daya dengan metode *Newton-Raphson* sebagai berikut :

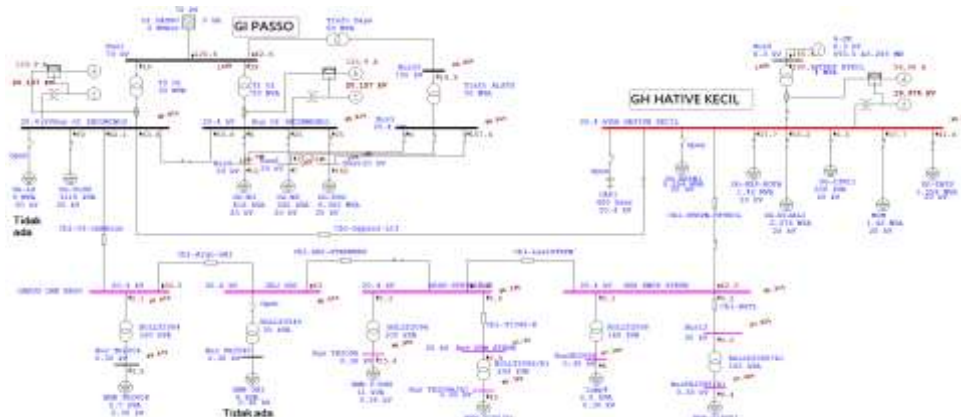
1. Pada bus berbeda dimana  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  harganya ditentukan. Besarnya tegangan dan sudut fasa disamakan dengan nilai bus referensi yaitu 1,0 dan 0,0, sehingga  $|V_i^{(0)}| = 1,0$  dan  $\delta_i^{(0)} = 0,0$ . Untuk bus pembangkit dimana  $|V_i|$  dan  $P_i^{sch}$  diatur, sedangkan sudut fasa disamakan dengan sudut bus referensi, maka  $\delta_i^{(0)} = 0,0$ .
2. Hitung  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$  pada bus beban menggunakan persamaan (37)(38),  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  dihitung dengan persamaan (49)(50).
3. Hitung  $P_i^{(k)}$  dan  $\Delta P_i^{(k)}$  pada bus pembangkit dengan persamaan (37)(38).
4. Hitung elemen-elemen matrik Jacobian J1, J2, J3 dan J4 dengan persamaan (41) s/d persamaan (48).
5. Hitung nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i^{(k)}|$  menggunakan persamaan (40).
6. Hitung nilai baru dari sudut fasa dan tegangan,  $\delta_i^{(k+1)}$  dan  $|V_i^{(k+1)}|$  dengan persamaan (51) dan (52).
7. Proses ini berlangsung sampai :  $|V_i^{(k+1)} - V_i^{(k)}| \leq \epsilon$

### III. METODE

Penelitian dilakukan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20kV penyulang Lateri 2 dan Lateri 3 GI Passo dengan beberapa tahapan yaitu pemodelan menggunakan ETAP 12.6 dengan menginput data jaringan distribusi dari pembangkit sampai ke beban, memilih metode newton-raphson pada ETAP, melakukan simulasi load flow dan melakukan evaluasi dan analisis aliran dayayang ada pada sistem distribusi 20kV penyulang lateri 2 dan lateri 3.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Simulasi Load Flow Penyulang Lateri 2 Dan Lateri 3 ketika interkoneksi GH. Hative Kecil



Gambar 5. Hasil simulasi WBP Penyulang Lateri 2 dan lateri 3 dengan suplai PLTD HK

Hasil simulasi load flow pada kondisi WBP dengan GH Hative Kecil mendapat suplai daya dari PLTD, memeperlihatkan terjadinya under voltage pada GH Hative Kecil mencapai 94,97% dengan besar losses teknis sebesar 190,9 kW dan losses VAR sebesar 97,4kvar. Losses terbesar terjadi pada penyulang lateri 3 sebagai penyulang by pass dimana menyumbang losses sebesar 85,5kW.

Device ID	Type	Condition	Original	Operating	% Operating
GH HATIVE KECIL	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.074	93.5
Bus DPN STEPA	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.268	94.4
Bus EMPG SIKONG	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.444	95.2
Bus TR2006	Bus	Under Voltage	20.4 kV	0.000	0.0
Bus TR2006W1	Bus	Under Voltage	20.4 kV	0.000	0.0
Bus22	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.444	95.3
Bus TR2006	Bus	Under Voltage	20.4 kV	0.000	0.0
Bus TR2006W1	Bus	Under Voltage	20.4 kV	0.000	0.0
Bus2006 UNP SIKONG	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.074	93.5
STRUKTURUNG BANG	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.452	95.4
Bus2006	Bus	Under Voltage	20.4 kV	19.058	93.4

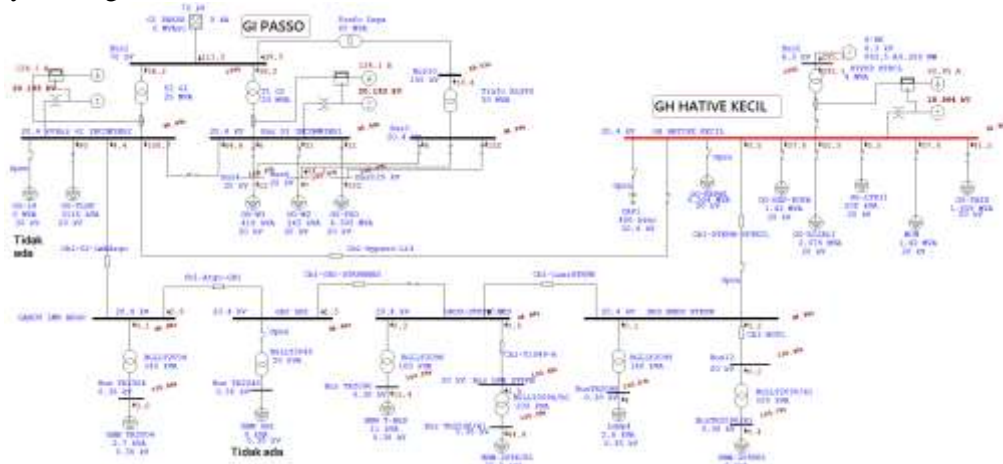
Gambar 6. Potongan hasil alert view dari simulasi ETAP pada kondisi WBP

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		VA Drop in Vbase
	MW	MVar	MW	MVar	kW	kVar	From	To	
CH-T1044-R	-0.024	-0.013	0.024	0.014	0.0	-1.8	97.3	98.9	0.00
BOLLE2044-R1	0.024	0.012	-0.024	-0.012	0.1	5.1	97.3	98.8	0.04
CH-Argus-L0	-1.724	-0.648	-0.018	-0.021	68.8	-133.0	98.9	99.0	0.84
CH-G0-LoakAge	1.076	0.629	-0.048	-0.001	21.8	-91.9	98.8	97.8	1.20
T1 01	-4.171	-2.104	4.179	2.215	8.8	115.7	98.8	100.0	1.18
T1 00	-4.173	-2.104	4.179	2.215	8.8	115.7	98.8	100.0	1.18
CH-BOFL	0.003	0.002	-0.000	-0.001	0.0	-0.4	99.3	97.2	0.00
CH-LoacSTEPH	-1.861	-0.715	1.865	0.713	1.8	-8.1	99.3	95.4	0.88
CH-STEPH-KTYECL	1.850	0.711	-1.849	-0.703	1.4	-11.9	99.3	95.0	0.94
BOLLE2004	0.003	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.0	97.3	97.2	0.00
BOLLE2004	-0.002	-0.000	0.002	0.000	0.0	-0.0	99.0	97.8	0.00
BOLLE2004	-0.001	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	98.8	95.4	0.07
Trafo Daya	4.490	2.142	-4.489	-2.147	1.2	57.3	100.0	99.0	0.03
STEPH-KTYECL	1.888	1.847	-1.889	-1.874	0.1	98.9	99.9	95.0	1.13
Trafo ALTYD	-4.487	-2.140	4.489	2.147	1.0	68.3	98.8	98.0	0.84
BOLLE2044-R1	0.003	0.003	-0.003	-0.003	0.0	0.0	97.2	97.0	0.00
CH-Argus-001	1.046	0.689	-2.012	-0.726	23.8	-49.0	97.8	98.0	1.10
CH-001-STEPH001	-1.891	-0.715	0.002	0.738	14.9	-41.4	95.4	98.0	1.13
					244.1	-171.3			

Gambar 7. Potongan hasil *branch losses summary report* dari simulasi ETAP pada kondisi WBP

#### 4.2 Simulasi Load Flow Penyulang Lateri 3 ketika interkoneksi GH. Hative Kecil

Hasil simulasi *load flow* pada kondisi WBP ketika penyulang lateri 3 interkoneksi dengan GH Hative Kecil, memperlihatkan terjadinya *under voltage* pada GH Hative Kecil mencapai 92,96% dengan besar *losses* teknis sebesar 244,1 kW dan *losses* VAR sebesar 171,3kvar. *Losses* terbesar terjadi pada penyulang lateri 3 sebagai penyulang *by pass* dimana menyumbang *losses* sebesar 210,3kW.



Gambar 8. Hasil simulasi WBP Penyulang lateri 3 ketika interkoneksi dengan GH. Hative Kecil

Device ID	Type	Condition	Rating/Unit	Operating	% Operating
GH HATIVE KECIL	Bus	Under Voltage	20.4 kV	18.064	93

Device ID	Type	Condition	Rating/Unit	Operating	% Operating

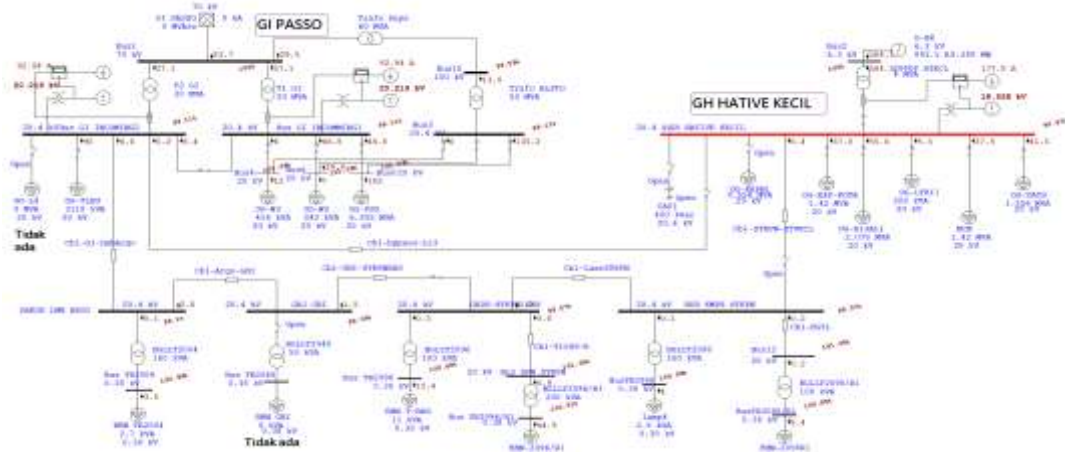
Gambar 9. Potongan hasil *alert view* dari simulasi ETAP

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		VA Drop in Vbase
	MW	MVar	MW	MVar	kW	kVar	From	To	
CH-T1044-R	-0.023	-0.013	0.023	0.014	0.0	-1.7	98.9	98.9	0.00
BOLLE2044-R1	0.023	0.012	-0.023	-0.012	0.1	5.1	98.9	98.8	0.04
CH-Argus-L0	-1.490	-0.287	-1.283	-0.510	210.3	-122.4	98.9	97.0	0.83
CH-G0-LoakAge	0.941	-0.148	-0.042	-0.007	0.1	-8.8	98.9	99.0	0.01
T1 01	-4.881	-1.774	4.888	1.870	4.8	68.1	99.0	100.0	1.01
T1 00	-4.882	-1.774	4.888	1.870	4.8	68.1	99.0	100.0	1.01
CH-BOFL	0.003	0.001	-0.001	-0.001	0.0	-0.4	99.0	98.0	0.00
CH-LoacSTEPH	-0.807	-0.339	0.807	0.335	0.0	-7.7	98.9	98.9	0.00
BOLLE2004	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.0	98.9	98.0	0.00
BOLLE2004	-0.001	-0.001	0.002	0.001	0.0	0.0	98.9	99.0	0.00
BOLLE2004	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	98.9	99.9	0.07
Trafo Daya	4.276	2.188	-4.283	-2.173	1.1	47.7	100.0	99.0	0.47
STEPH-KTYECL	1.897	1.716	-1.878	-2.112	21.7	104.3	100.0	97.0	1.18
Trafo ALTYD	-4.288	-2.013	4.289	2.112	1.0	57.2	99.0	99.0	0.55
BOLLE2044-R1	0.003	0.003	-0.003	-0.003	0.0	0.0	98.0	100.7	0.00
CH-Argus-001	0.941	-0.689	-0.041	-0.022	0.0	-9.8	98.9	99.0	0.01
CH-STEPH-KTYECL	0.800	-0.313	0.800	0.305	0.0	-14.9	98.9	99.0	0.00
CH-001-STEPH001	-0.841	-0.330	0.041	-0.022	0.0	-54.2	98.9	99.0	0.02
					244.1	-171.3			

Gambar 10. Potongan hasil *branch losses summary report*

#### 4.3 Simulasi Load Flow Penyulang Lateri 2 dan Lateri 3 tanpa interkoneksi GH. Hative Kecil

Simulasi ini dilakukan pada kondisi WBP dimana kedua penyulang lepas dari GH Hative Kecil. Sehingga dapat dilihat bahwa GH. Hative Kecil sangat terbebani mengakibatkan terjadinya *under voltage* hingga mencapai 90,97%. Kondisi ini menyebabkan *losses* yang cukup tinggi pada trafo *stepup* GH Hative Kecil sebesar 79,3kW.



Gambar 11. Hasil simulasi WBP Penyulang Lateri 2 dan lateri 3 saat lepas dari GH Hative Kecil

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Operating	% Operating
GH HATIVE KECIL	Bus	Under Voltage	20.000V	19.850	99.1

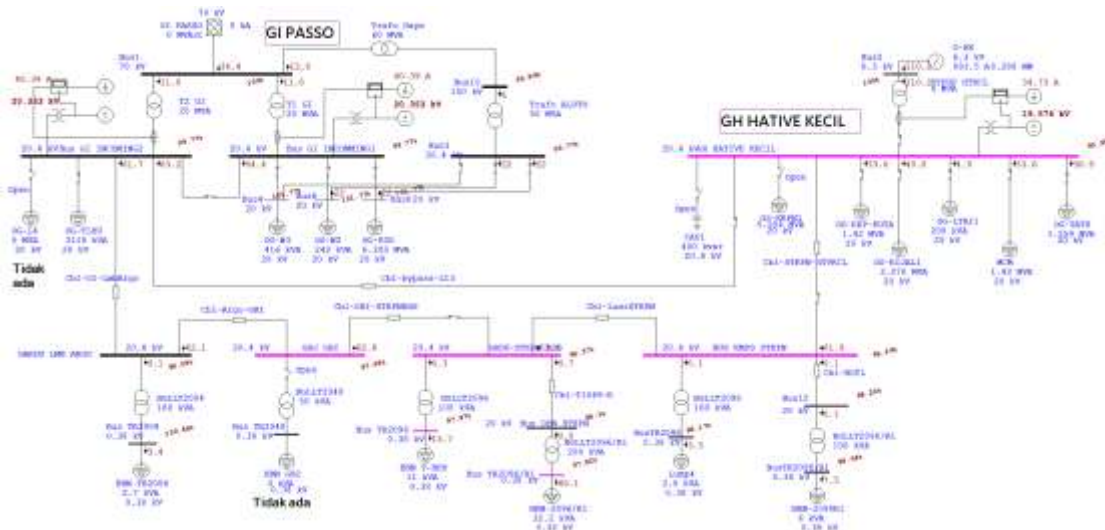
Gambar 12. Potongan hasil *alert view* simulasi ETAP kondisi WBP saat lepas dari GH Hative Kecil

CET / Branch	From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		V <sub>0</sub> % Drop
	MVA	MVA	MVA	MVA	kW	kvar	From	To	
Chi-TI244-B	-0.023	-0.019	0.023	0.014	0.0	-1.7	101.1	99.1	0.00
BOLLT244-B	0.023	0.019	-0.023	-0.019	0.1	0.1	101.1	100.0	0.04
Chi-OI-LentAgo	0.040	-0.147	-0.043	0.038	0.1	-09.0	98.1	99.1	0.01
Chi-Kyasa-Lif	0.000	-0.183	0.000	0.000	0.1	-183.3	98.1	99.1	0.04
TI-SE	-2.833	-1.893	2.834	1.897	2.7	13.9	99.1	100.0	0.00
TI-SE	-2.833	-1.893	2.834	1.897	2.7	13.9	99.1	100.0	0.00
Chi-BUTL	0.003	0.003	-0.003	-0.003	0.0	-6.4	99.1	101.1	0.00
Chi-LuarTKPR	-0.007	-0.004	0.007	0.000	0.0	-3.7	99.1	99.1	0.00
BOLLT244	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.0	99.1	100.0	0.04
BOLLT244	-0.002	-0.001	0.002	0.001	0.0	0.0	101.0	99.1	0.00
BOLLT244	-0.002	-0.001	0.002	0.001	0.0	0.0	101.0	99.1	0.00
BOLLT244	-0.002	-0.001	0.002	0.001	0.0	0.0	101.0	99.1	0.00
Thaly-Daya	3.042	1.892	-3.041	-1.899	0.0	28.7	100.0	99.0	0.41
VTPOK-STRCL	0.000	0.074	-0.000	-0.000	79.0	975.0	100.0	99.0	7.21
Thaly-ALYD	-3.041	-1.892	3.041	1.899	0.7	32.1	99.1	99.0	0.46
BOLLT244-B	0.003	0.003	-0.003	-0.003	0.0	0.0	101.1	100.0	0.00
Chi-Ago-ORI	0.041	-0.009	-0.041	0.033	0.0	-12.8	99.1	99.1	0.01
Chi-STRK-STRVECL	0.000	-0.014	0.000	0.000	0.0	-14.1	91.0	92.8	0.00
Chi-DB-STRK-SHS	-0.041	-0.020	0.041	-0.033	0.0	-04.0	99.1	99.1	0.01
					88.1	499.0			

Gambar 13. Potongan *branch losses summary report* kondisi WBP saat lepas dari GH Hative Kecil

#### 4.4 Simulasi *Load Flow* Penyulang Lateri 2 Dan Lateri 3 pada kondisi LWBP ketika interkoneksi GH. Hative Kecil

Simulasi ini dilakukan pada kondisi LWBP dimana kedua penyulang interkoneksi dengan GH Hative Kecil. Sehingga dapat dilihat bahwa GH. Hative Kecil dapat terlayani sehingga tidak terjadi *under voltage*. Hasil simulasi ini memperlihatkan total *losses* yang disumbangkan sebesar 171kW. Walaupun demikian penyumbang *losses* terbesar tetap ada pada penyulang 3 sebesar 84,4kW.



Gambar 14. Hasil simulasi LWBP Penyulang Lateri 2 dan lateri 3 dengan suplai PLTD HK

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Operating	% Operating
Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Operating	% Operating
BUS DFP5-STEP3	Bus	Under Voltage	20.4kV	19.844	96.3
Bus TRIG001	Bus	Under Voltage	8.08kV	8.032	99.3
Bus TRIG002	Bus	Under Voltage	8.38kV	8.032	95.8
Bus HATIVE KECIL	Bus	Under Voltage	20.4kV	19.814	96.6
DRD3-STEP3HSE	Bus	Under Voltage	20.4kV	19.858	96.8
SFU 001	Bus	Under Voltage	20.4kV	19.807	96.6

Gambar 15. Potongan hasil *alert view* dari simulasi ETAP pada kondisi LWBP

Ckt / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd	
	MW	MVar	MW	MVar	kW	kVar	From	To	% Drop	in Voltage
CH-TRIG001-R	-0.022	-0.334	0.022	0.332	0.0	-1.6	99.3	99.4	0.00	
BOLLET004-R1	0.022	0.014	-0.022	-0.014	0.1	0.1	99.3	97.8	0.48	
CH-004-1-L1	2.127	0.627	-2.022	-0.788	34.4	-153.3	99.3	90.0	3.82	
CH-00-1-0-1-0-1	2.088	0.610	-2.061	-0.643	22.2	-52.1	99.3	98.8	2.18	
TI 01	-3.278	-0.287	1.271	0.297	0.2	18.2	99.3	100.0	0.23	
TI 01	-3.278	-0.287	1.271	0.297	0.2	18.2	99.3	100.0	0.23	
CH-001-1-0-1	0.004	0.002	-0.004	-0.003	0.0	-0.4	98.2	98.2	0.00	
CH-001-1-0-1-0-1	-0.000	-0.242	1.001	0.239	1.0	-3.1	99.3	98.4	0.00	
CH-001-1-0-1-0-1-0-1	0.074	0.228	-1.000	-0.232	7.8	-14.2	99.3	90.0	0.24	
BOLLET004	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.0	99.3	98.2	0.00	
BOLLET004	-0.002	-0.001	0.002	0.001	0.0	0.0	100.0	99.9	0.00	
BOLLET004	-0.008	-0.233	0.008	0.000	0.0	0.0	99.0	98.4	0.33	
TRIG001	1.433	0.474	-1.433	-0.468	0.1	0.0	100.0	99.0	0.11	
TRIG001	0.304	1.184	-0.304	-1.188	0.0	24.7	100.0	98.0	0.29	
TRIG001	-1.433	-0.463	1.433	0.469	0.1	0.1	99.3	99.0	0.13	
BOLLET004-R1	0.004	0.002	-0.004	-0.003	0.0	0.0	99.2	99.0	0.18	
CH-001-0-1	2.088	0.602	-2.031	-0.700	22.2	-47.1	99.3	97.0	2.00	
CH-001-0-1-0-1	-0.022	-0.298	2.022	0.709	24.2	-48.2	99.3	97.0	2.12	

Gambar 16. Potongan hasil *branch losses summary report* dari simulasi ETAP pada kondisi LWBP

## V. PENUTUP

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa rugi-rugi daya pada penyulang Ahuru, dapat disimpulkan:

1. Pada kondisi WBP Ketika Penyulang Lateri 2 Dan Lateri 3 interkoneksi GH. Hative Kecil terjadi under voltage pada GH Hative Kecil mencapai 94,97% dengan besar *losses* teknis sebesar 190,9 kW dan *losses* VAR sebesar 97,4kvar. *Losses* terbesar terjadi pada penyulang lateri 3 sebagai penyulang *by pass* dimana menyumbang *losses* sebesar 85,5kW.
2. Pada kondisi WBP ketika Penyulang Lateri 3 ketika interkoneksi GH. Hative Kecil terjadi under voltage pada GH Hative Kecil mencapai 92,96% dengan besar *losses* teknis sebesar 244,1 kW dan *losses* VAR sebesar 171,3kvar. *Losses* terbesar terjadi pada penyulang lateri 3 sebagai penyulang *by pass* dimana menyumbang *losses* sebesar 210,3kW.
3. Pada kondisi WBP ketika penyulang Lateri 2 dan Lateri 3 tanpa interkoneksi GH. Hative Kecil terjadi *under voltage* hingga mencapai 90,97%. Kondisi ini menyebabkan *losses* yang cukup tinggi pada trafo *stepup* GH Hative Kecil sebesar 79,3kW.
4. Pada Kondisi LWBP ketika Penyulang Lateri 2 Dan Lateri 3 interkoneksi GH. Hative Kecil tidak terjadi *under voltage* dan total *losses* yang disumbangkan sebesar 171 kW. Walaupun demikian penyumbang *losses* terbesar tetap ada pada penyulang 3 sebesar 84,4kW.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Faruq, A. Ridho, M. Vrayulis, and E. Julio, "Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 16–22, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7031.
- [2] P. Tegangan, "SIMULASI DAN ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ELECTRICAL TRANSIENT ANALYSER PROGRAM (ETAP) VERSI 4.0 Rudi Salman 1) Mustamam 2) Arwadi Sinuraya 3)".
- [3] A. I. Adfin, Erhaneli, S. Bandri, and Z. Anthon, "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Drop Tegangan Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Hubung Panti ULP Lubuk Sikaping Gardu Hubung Panti Ulp Lubuk Sikaping," *Semin. Nas. Multidisiplin Ilmu*, vol. 3, no. 1, pp. 17–23, 2022.
- [4] A. Nizar, "Analisis Rugi Daya Menggunakan Etap Pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Bagong," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 195–202, 2021.
- [5] E. H. Harun, M. T. Adam, and J. Ilham, "Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung Lemito Melalui Studi Aliran Daya," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 143–147, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13825.
- [6] Cekmas Cekdin, "Sistem Tenaga Listrik Contoh Soal dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab," Andy Offset, Yogyakarta 2007.