

# ANALISA PERBAIKAN JATUH TEGANGAN DENGAN PEMASANGAN *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* PADA PENYULANG DURIAN 4 PT PLN RAYON RASAU JAYA

*Muhamad Sika Maheka*

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura  
Email : [hikkasika@gmail.com](mailto:hikkasika@gmail.com)

**Abstrak** - Penyulang Durian 4 merupakan penyulang terpanjang pada PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya yaitu dengan panjang jaringan 307 Kms dan terdapat 170 unit gardu distribusi, sehingga jatuh tegangan pada saluran merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Upaya perbaikan jatuh tegangan telah dilakukan yaitu dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya. Analisa perbaikan jatuh tegangan dengan pemasangan *automatic voltage regulator* pada penyulang Durian 4 PT. PLN Rayon Rasau Jaya yaitu dengan membandingkan dampak jatuh tegangan dan rugi-rugi daya aktif tanpa dan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya. Hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya tanpa pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Keseluruhan bus yaitu 194 bus pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya mengalami jatuh tegangan dengan persentase jatuh tegangan melebihi standar yang diijinkan SPLN No. 72 tahun 1987 yaitu lebih dari 5%. Bahkan terdapat persentase jatuh tegangan bus yang mencapai 38,3807% yaitu sebesar 12,3239 kV terjadi di bus 132 (Gardu RJ 0040 KB). Sedangkan total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya sebesar 947,108 kW. Lokasi pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 terletak dengan bus 25 (Titik 15) dengan hasil perhitungan rasio tegangan sebesar 0,818, sehingga dengan pemasangan AVR diharapkan tegangan kirim bus 25 (Titik 15) meningkat sebesar 19,2544 kV yang sebelumnya sebesar 15,7536 kV. Dampak pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menyebabkan tegangan pada bus 132 (Gardu RJ 0040 KB) meningkat menjadi sebesar 16,5556 kV. Pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) juga mereduksi besarnya rugi-rugi daya aktif pada seksi/cabang saluran yang dicatu dari yaitu bus 25, sehingga total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada penyulang Durian 4 berkurang sebesar 137,169 kW menjadi 809,939 kW.

**Kata kunci** : jatuh tegangan, *Automatic Voltage Regulator*, rugi-rugi daya aktif

## 1. Pendahuluan

Jatuh tegangan dan susut daya diakibatkan oleh rugi-rugi daya di jaringan karena tingginya impedansi jaringan, karakteristik induktif jaringan listrik serta beban induktif yang tersambung pada jaringan. Dalam kenyataannya, adanya susut daya listrik pada penyediaan energi listrik adalah sesuatu yang tidak bisa dihindarkan. Meski demikian susut energi yang terjadi dalam proses penyaluran dan distribusi energi listrik merupakan suatu pemborosan energi apabila tidak dikendalikan secara optimal. Berdasarkan ketentuan SPLN No. 72 Tahun 1987, dimana jatuh tegangan yang diperbolehkan untuk saluran udara tegangan menengah (SUTM) kurang dari 5%. Untuk menjaga agar jatuh tegangan pada jaringan distribusi berada pada batas yang diizinkan maka perlu dilakukan pengendalian tegangan. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki tegangan, salah satunya adalah pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada jaringan distribusi primer.

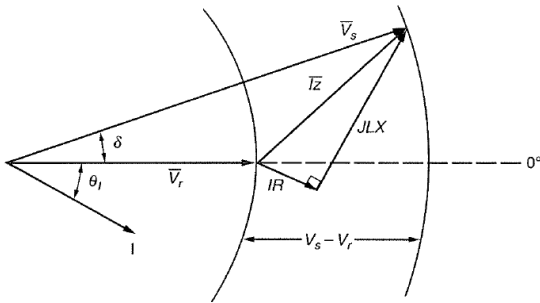
Berdasarkan data penyulang Durian 4 merupakan salah satu penyulang pada PT. PLN (Persero) Rayon

Rasau Jaya, data pengukuran tegangan pada ujung penyulang mencapai 12-14 kV. Sedangkan sumber tegangan yang disalurkan dari GH. Kuala Dua mencapai 20 kV, hal tersebut menunjukkan terjadi jatuh tegangan sekitar 6-8 kV atau persentase jatuh tegangan telah mencapai 30-40%. Upaya memperbaiki tegangan telah dilakukan oleh pihak PT. PLN (Persero) yaitu dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada jaringan distribusi primer yang berlokasi dekat dengan Kantor Pelayanan Kubu. Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian tugas akhir ini dilakukan analisa perbaikan jatuh tegangan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya, sehingga diperoleh persentase jatuh tegangan pada objek penelitian dan dibandingkan berdasarkan ketentuan SPLN No. 72 Tahun 1987 dapat tercapai.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan [8,9]

Menurut (Gonen, 2008), Untuk menentukan persamaan jatuh tegangan maka digunakan diagram fasor berikut ini :



Gambar 1. Diagram Fasor Tegangan dan Arus  
Sumber : Gonen (2008 )

Dari diagram fasor pada gambar diatas, tegangan kirim adalah :

$$\bar{V}_s = V_s \angle \delta \dots \dots \dots (1)$$

arus adalah :

$$\bar{I} = I \angle -\theta \dots \dots \dots (2)$$

dan sudut faktor daya :

$$\theta = \theta_v - \theta_i = -\theta \dots \dots \dots (3)$$

Sedangkan jatuh tegangan per-unit didefinisikan sebagai :

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_B} \text{ pu} \dots \dots \dots (4)$$

Sehingga, persentase jatuh tegangan adalah :

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_B} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Dimana  $V_B$  adalah tegangan dasar yang bebas memilih tegangan dasar sekunder, atau menggunakan tegangan dasar primer dengan memperhitungkan rasio transformator yang digunakan.

Dari diagram fasor pada, tegangan kirim adalah :

$$\bar{V}_s = V_r + \bar{I}Z \dots \dots \dots (6)$$

atau

$$V_s = V_r \angle 0^\circ + I(\cos \theta - j \sin \theta)(R + j X) \dots \dots \dots (7)$$

Dalam sistem distribusi dimana  $R \cong X$ , sehingga persamaan menjadi :

$$V_s = V_r + IR \cos \theta + IX \sin \theta \dots \dots \dots (8)$$

Sehingga jatuh tegangan untuk faktor daya terbelakang adalah :

$$\Delta V_{1\phi} = IR \cos \theta + IX \sin \theta \dots \dots \dots (9)$$

Untuk sistem tiga fasa :

$$\Delta V_{3\phi} = \sqrt{3}I(R \cos \theta + X \sin \theta) \dots \dots \dots (10)$$

Jika :

Impedansi total saluran merupakan  $R = r \times l$  dan

$$X = x \times l$$

Besarnya arus :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V_s} \dots \dots \dots (11)$$

Karena rugi-rugi saluran diabaikan, maka daya pada sisi kirim sama dengan daya sisi terima.

atau

$$S_s = S_r \dots \dots \dots (12)$$

Diasumsikan tegangan dasar  $V_B$  menggunakan tegangan kirim  $V_s$ , jatuh tegangan sistem tiga fasa adalah :

$$\Delta V = \frac{S_r(r \cos \theta + x \sin \theta)\ell}{V_s^2} \text{ pu} \dots \dots \dots (13)$$

$$\Delta V = \frac{S_r(r \cos \theta + x \sin \theta)\ell}{V_s^2} \times 100\% \dots \dots \dots (14)$$

Dalam menganalisis sistem distribusi tegangan menengah pada umumnya besaran beban atau daya menggunakan satuan kVA sedangkan besaran tegangan menggunakan satuan kV, sehingga persamaan dapat dikonversikan dengan cara dibagi dengan 1000 menjadi :

$$\Delta V = \frac{S_r(r \cos \theta + x \sin \theta)\ell}{V_s^2} \times \frac{100}{1000} \% \dots \dots \dots (15)$$

Sehingga persentase jatuh tegangan sistem tiga fasa adalah :

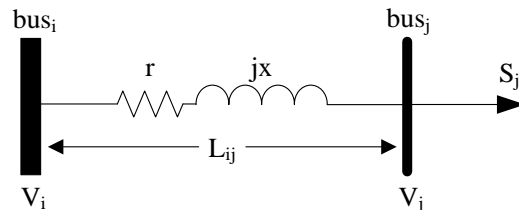
$$\Delta V = \frac{S_r(r \cos \theta + x \sin \theta)\ell}{10 \cdot V_s^2} \% \dots \dots \dots (16)$$

dimana :

- $\Delta V$  = jatuh tegangan dalam pu atau %
- $S_r$  = Daya kompleks sisi terima dalam kVA
- $V_s$  = Tegangan sisi kirim dalam kV
- $I$  = Besar arus dalam Ampere
- $R$  = Resistansi total saluran dalam Ohm
- $X$  = Reaktansi total saluran dalam Ohm
- $r$  = Resistansi saluran dalam Ohm/Km
- $x$  = Reaktansi Saluran dalam Ohm/Km
- $\ell$  = Panjang Saluran dalam Km

### 2.2. Perhitungan Rugi-Rugi Daya Aktif

Untuk analisis perhitungan arus cabang rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada tiap cabang/seksi sistem distribusi, cabang tersebut dapat diilustrasikan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2. Ilustrasi Seksi Saluran Antar Dua Bus

Dari gambar 2, dapat ditentukan besarnya persentase jatuh tegangan saluran dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta V_{ij} = \frac{S_j(r \cos \theta + x \sin \theta)\ell_{ij}}{10 \cdot V_i^2} \% \dots \dots \dots (17)$$

Tegangan sisi terima ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_j = V_i - [V_i \times \Delta V_{ij} \%] \text{ kV} \dots \dots \dots (18)$$

Besarnya arus cabang yang mengalir pada bus ke-j ( $I_{ij}$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{ij} = \frac{S_j}{V_j} \text{ Ampere} \dots \dots \dots (19)$$

Rugi-rugi aktif yang terjadi pada cabang tersebut ( $P_{lossij}$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{lossij} = 3 \times I_{ij}^2 \times R_{ij} \text{ Watt} \dots \dots \dots (20)$$

karena  $R_{ij} = r_{ij} \times \ell_{ij}$  Ohm, maka :

$$P_{loss_{ij}} = \frac{3 \times I_{ij}^2 \times r_{ij} \times \ell_{ij}}{1.000} \text{ kW} \dots\dots\dots (21)$$

dimana :

- $S_j$  = Besar beban total pada bus ke-j dalam VA
- $V_j$  = Besar tegangan pada bus ke-j dalam Volt
- $R_{ij}$  = Resistansi total saluran bus<sub>i</sub>-bus<sub>j</sub> dalam Ohm
- $r_{ij}$  = Resistansi saluran bus<sub>i</sub>-bus<sub>j</sub> dalam Ohm/Km
- $\ell_{ij}$  = Jarak saluran bus<sub>i</sub>-bus<sub>j</sub> dalam Km
- $I_{ij}$  = Arus cabang saluran bus<sub>i</sub>-bus<sub>j</sub> dalam Ampere

### 2.3. Pengaturan Tegangan Automatic Voltage Regulator <sup>[2]</sup>

Automatic Voltage Regulator merupakan autotransformator yang memiliki beberapa tap di dalam setiap belitan dengan fungsi mekanisme.

Rasio pada autotransformator dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{V_{Primer}}{V_{Sekunder}} \text{ pu} \dots\dots\dots (22)$$

Dari persamaan (2.33) terlihat bahwa rasio dari rangkaian transformator selalu lebih besar daripada 1 sehingga rasio tegangan kumparan rangkaian :

$$\frac{V_S}{V_C} = \frac{n_2}{n_1} = a - 1 \text{ pu} \dots\dots\dots (23)$$

Dan rasio arusnya :

$$\frac{I_C}{I_S} = \frac{I_C}{I_H} = \frac{I_X - I_H}{I_H} = a - 1 \text{ pu} \dots\dots\dots (24)$$

dimana :

- $V_{Primer}$  = Tegangan di sisi tegangan primer [Volt]
- $V_{Sekunder}$  = Tegangan di sisi tegangan sekunder [Volt]
- $a$  = Rasio lilitan transformator
- $n_1$  = Banyak lilitan di sisi primer
- $n_2$  = Banyak lilitan di sisi sekunder
- $I_S$  = Arus yang melewati kumparan bersama [A]
- $I_C$  = Arus yang melewati kumparan seri [A]
- $I_X$  = Arus keluaran pada sisi tegangan rendah [A]
- $I_H$  = Arus keluaran pada sisi tegangan tinggi [A]

Komponen utamanya adalah mekanisme tap changing dan pengendaliannya. Tiap Automatic Voltage Regulator (AVR) biasanya dilengkapi oleh peralatan yang bisa mengendalikan perubahan tap secara otomatis berdasarkan tegangan yang masuk walaupun pada saat itu Automatic Voltage Regulator (AVR) dalam keadaan berbeban. Untuk menentukan rating sebuah regulator satu fasa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{kVA Regulator} = \text{Range} \times \text{kVA sistem (kVA) pu} \dots\dots\dots (25)$$

dimana  
Range = 0,05 atau 0,1 tergantung pemakaian

Asumsi lokasi penempatan Automatic Voltage Regulator (AVR) pada bus ke-n, sehingga tegangan pada sisi primer AVR merupakan tegangan sumber bus ke-n.

$$V_{AVR(Primer)} = V_{bus\ n} \text{ kV} \dots\dots\dots (26)$$

Setelah pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) dengan rasio tegangan yang dihasilkan transformator AVR pada sisi kirim bus ke-n mengalami kenaikan tegangan sebesar tegangan pada sisi sekunder AVR :

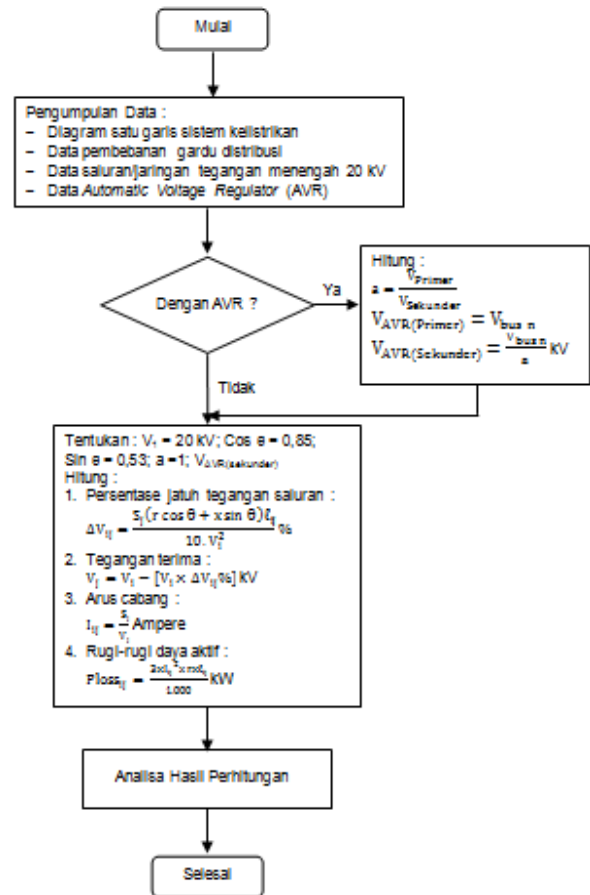
$$V_{AVR(Primer)} = \frac{V_{bus\ n}}{a} \text{ kV} \dots\dots\dots (27)$$

dimana :

- $V_{AVR(Primer)}$  = Tegangan sisi primer AVR [kV]
- $V_{AVR(Sekunder)}$  = Tegangan sisi sekunder AVR [kV]
- $V_{bus\ n}$  = Tegangan sumber AVR [kV]
- $a$  = Rasio Tegangan AVR

### 2.4. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir analisa perbaikan jatuh tegangan dengan pemasangan Automatic Voltage Regulator pada penyulang Durian 4 PT.PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya ditunjukkan pada Gambar 3.

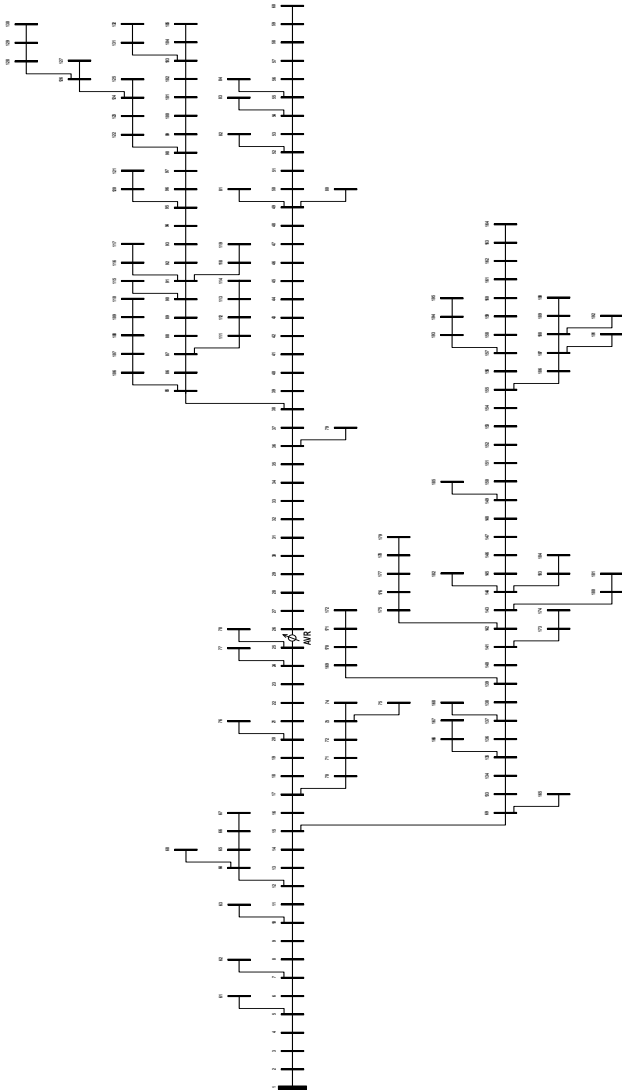


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

### 3. Data dan Perhitungan

#### 3.1. Data Beban dan Saluran Penyulang Durian 4

Berdasarkan data pembebanan pada masing-masing gardu distribusi, besarnya beban dan beban total pada bus ke-i penyulang. Data tersebut diperoleh dari data jaringan atau teknik Rayon Rasau Jaya.



Gambar 4. Diagram Satu Garis Penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya

### 3.2. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Penyulang Durian 4 Tanpa Pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR)

Perhitungan persentase jatuh tegangan pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya tanpa pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) diuraikan sebagai berikut :

#### 1. Persentase Jatuh Tegangan Pada Saluran Bus 1 ke Bus 2 :

Diketahui :

Total beban bus 2 = 4.159,448 kVA  
 Resistansi saluran (r) = 0,2162 Ohm/Km  
 Reaktansi saluran (x) = 0,3305 Ohm/Km  
 Tegangan kirim (V<sub>1</sub>) = 20 kV  
 Panjang Saluran (ℓ) = 16,03 Km  
 cos θ = 0,85  
 sin θ = 0,53

$$\Delta V_{ij} = \frac{S_j(r_{ij} \cdot \cos \theta + x_{ij} \cdot \sin \theta) \ell_{ij}}{10 \cdot V_i^2} \%$$

$$\Delta V_{1-2} = \frac{S_2(r_{1-2} \cdot \cos \theta + x_{1-2} \cdot \sin \theta) \ell_{1-2}}{10 \cdot V_1^2} \%$$

$$\Delta V_{1-2} = \frac{4.159,448 \times (0,2162 \times 0,85 + 0,3305 \times 0,53) \times (16,03)}{10 \times (20^2)} \%$$

$$\Delta V_{1-2} = 5,9831\%$$

Tegangan terima pada Bus 2 :

$$V_2 = V_1 - [V_1 \times \Delta V_{1-2}] \text{ kV}$$

$$V_2 = 20 - (20 \times 5,9831\%)$$

$$V_2 = 18,8034 \text{ kV}$$

#### 2. Persentase Jatuh Tegangan Pada Saluran Bus 2 ke Bus 3 :

Diketahui :

Total beban bus 3 = 4.112,448 kVA

Resistansi saluran (r) = 0,2162 Ohm/Km

Reaktansi saluran (x) = 0,3305 Ohm/Km

Tegangan kirim (V<sub>2</sub>) = 18,8034 kV

Panjang Saluran (ℓ) = 0,43 Km

cos θ = 0,85

sin θ = 0,53

$$\Delta V_{ij} = \frac{S_j(r_{ij} \cdot \cos \theta + x_{ij} \cdot \sin \theta) \ell_{ij}}{10 \cdot V_i^2} \%$$

$$\Delta V_{2-3} = \frac{S_3(r_{2-3} \cdot \cos \theta + x_{2-3} \cdot \sin \theta) \ell_{2-3}}{10 \cdot V_2^2} \%$$

$$\Delta V_{2-3} = \frac{4.112,448 \times (0,2162 \times 0,85 + 0,3305 \times 0,53) \times (0,43)}{10 \times (18,8034^2)} \%$$

$$\Delta V_{23} = 0,1795\%$$

Tegangan terima pada Bus 3 :

$$V_3 = V_2 - [V_2 \times (\Delta V_{2-3})] \text{ kV}$$

$$V_3 = 18,8034 - [18,8034 \times (0,1795\%)]$$

$$V_3 = 18,7696 \text{ kV}$$

### 3.3. Perhitungan Arus dan Rugi-Rugi Daya Aktif Penyulang Durian 4 Tanpa Pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR)

Perhitungan arus dan rugi-rugi daya aktif pada seksi saluran/cabang penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya diuraikan sebagai berikut :

#### 1. Arus dan Rugi-Rugi Daya Aktif Saluran Bus 1 ke Bus 2 :

Diketahui :

Total beban bus 2 = 4.159,448 kVA

Resistansi (r) = 0,2162 Ohm/Km

Tegangan bus 2 (V<sub>2</sub>) = 18,8034 kV

Panjang Saluran (ℓ) = 16,03 Km

Arus yang mengalir dari bus 1 ke bus 2 :

$$I_{ij} = \frac{S_j}{\sqrt{3} \times V_j} \text{ Ampere}$$

$$I_{1-2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \times V_2} \text{ Ampere}$$

$$I_{1-2} = \frac{4.159,448}{\sqrt{3} \times 18,8034}$$

$$I_{1-2} = 127,714 \text{ Ampere}$$

Rugi-rugi daya aktif saluran dari bus 1 ke bus 2 :

$$P_{Loss_{ij}} = \frac{3 \times I_{ij}^2 \times R_{ij}}{1.000} \text{ kW}$$

$$P_{Loss_{1-2}} = \frac{3 \times I_{1-2}^2 \times R_{1-2}}{1.000} \text{ kW}$$

$$P_{Loss_{1-2}} = \frac{3 \times 127,714^2 \times (0,2162 \times 16,03)}{1.000}$$

$$P_{Loss_{1-2}} = 169,585 \text{ kW}$$

## 2. Arus dan Rugi-Rugi Daya Aktif Saluran Bus 2 ke Bus 3 :

Diketahui :

Total beban bus 3 = 4.112,448 kVA

Resistansi (r) = 0,2162 Ohm/Km

Tegangan bus 3 ( $V_3$ ) = 18,7696 kV

Panjang Saluran ( $\ell$ ) = 0,43 Km

Arus yang mengalir dari bus 1 ke bus 2 :

$$I_{ij} = \frac{S_j}{\sqrt{3} \times V_j} \text{ Ampere}$$

$$I_{2-3} = \frac{S_3}{\sqrt{3} \times V_3} \text{ Ampere}$$

$$I_{2-3} = \frac{4.112,448}{\sqrt{3} \times 18,7696}$$

$$I_{2-3} = 126,498 \text{ Ampere}$$

Rugi-rugi daya aktif saluran dari bus 1 ke bus 2 :

$P_{Loss_{ij}} = \frac{3 \times I_{ij}^2 \times R_{ij}}{1.000} \text{ kW}$

$$P_{Loss_{2-3}} = \frac{3 \times I_{2-3}^2 \times R_{2-3}}{1.000} \text{ kW}$$

$$P_{Loss_{2-3}} = \frac{3 \times 126,498^2 \times (0,2162 \times 0,43)}{1.000}$$

$$P_{Loss_{2-3}} = 4,463 \text{ kW}$$

## 3.4. Perhitungan Rasio Tegangan Automatic Voltage (AVR)

Lokasi pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) terletak dengan bus 25 (Titik 15). Tap AVR untuk sisi primer yang digunakan saat ini adalah 16/-10% atau 18 kV, sedangkan untuk sisi sekunder adalah 16/+10% atau 22 kV. Sehingga rasio tegangan pada AVR (*automatic voltage regulator*) sebagai berikut :

$$a = \frac{V_{Primer}}{V_{Sekunder}} = \frac{18,000}{22,000} = 0,818$$

Karena lokasi pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) terletak setelah bus 25 (Titik 15), maka tegangan pada sisi primer AVR merupakan tegangan sisi terima bus 25 (Titik 15) yaitu sebesar 15,7536 kV, dengan pemasangan AVR diharapkan tegangan kirim bus 25 (Titik 15) meningkat sebesar :

$$V_{AVR(Primer)} = V_{25}$$

$$V_{AVR(Sekunder)} = \frac{V_{25}}{a} \text{ kV}$$

$$V_{AVR(Sekunder)} = \frac{15,7536}{0,818} = 19,2544 \text{ kV}$$

## 3.5. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Penyulang Durian 4 Dengan Pemasangan Automatic Voltage (AVR)

Perhitungan persentase jatuh tegangan pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) diuraikan sebagai berikut :

### 1. Persentase Jatuh Tegangan Pada Saluran Bus 25 ke Bus 26 :

Diketahui :

Total beban bus 25 = 1.868,618 kVA

Resistansi saluran (r) = 0,9217 Ohm/Km

Reaktansi saluran (x) = 0,3790 Ohm/Km

Tegangan kirim ( $V_{AVR}$ ) = 19,2544 kV

Panjang Saluran ( $\ell$ ) = 0,14 Km

$\cos \theta$  = 0,85

$\sin \theta$  = 0,53

$$\Delta V_{ij} = \frac{S_j(r_{ij} \cdot \cos \theta + x_{ij} \cdot \sin \theta) \ell_{ij}}{10 \cdot V_i^2} \%$$

$$\Delta V_{25-26} = \frac{S_{25-26}(r_{25-26} \cdot \cos \theta + x_{25-26} \cdot \sin \theta) \ell_{25-26}}{10 \cdot V_{25}^2} \%$$

$$\Delta V_{25-26} = \frac{1.868,618 \times (0,9217 \times 0,85 + 0,3790 \times 0,53) \times (0,14)}{10 \times (19,2544^2)} \%$$

$$\Delta V_{25-26} = 0,0695 \%$$

Tegangan terima pada Bus 2 :

$$V_{26} = V_{25} - [V_{25} \times \Delta V_{25-26}] \text{ kV}$$

$$V_{26} = 19,2544 - (19,2544 \times 0,0695 \%)$$

$$V_{26} = 19,2411 \text{ kV}$$

## 2. Persentase Jatuh Tegangan Pada Saluran Bus 26 ke Bus 27 :

Diketahui :

Total beban bus 26 = 1.856,518 kVA

Resistansi saluran (r) = 0,9217 Ohm/Km

Reaktansi saluran (x) = 0,3790 Ohm/Km

Tegangan kirim ( $V_{26}$ ) = 19,2411 kV

Panjang Saluran ( $\ell$ ) = 0,40 Km

$\cos \theta$  = 0,85

$\sin \theta$  = 0,53

$$\Delta V_{ij} = \frac{S_j(r_{ij} \cdot \cos \theta + x_{ij} \cdot \sin \theta) \ell_{ij}}{10 \cdot V_i^2} \%$$

$$\Delta V_{26-27} = \frac{S_{27}(r_{26-27} \cdot \cos \theta + x_{26-27} \cdot \sin \theta) \ell}{10 \cdot V_{26}^2} \%$$

$$\Delta V_{26-27} = \frac{1.856,518 \times (0,9217 \times 0,85 + 0,3790 \times 0,53) \times (0,40)}{10 \times (19,2411^2)} \%$$

$$\Delta V_{26-27} = 0,1974 \%$$

Tegangan terima pada Bus 3 :

$$V_{27} = V_{26} - [V_{26} \times (\Delta V_{26-27})] \text{ kV}$$

$$V_{27} = 19,2411 - [19,2411 \times (0,1974 \%) ]$$

$$V_{27} = 19,2031 \text{ kV}$$

## 4. Analisa Hasil

### 4.1. Dampak Pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) Terhadap Kualitas Tegangan Penyulang Durian 4

Pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada bus 25 penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya berdampak pada meningkatnya tegangan pada bus-bus beban yang dicatu pada bus tersebut yaitu bus 26 sampai dengan bus 132. Perbandingan Tegangan bus tanpa dan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Tegangan Bus Pada Penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya

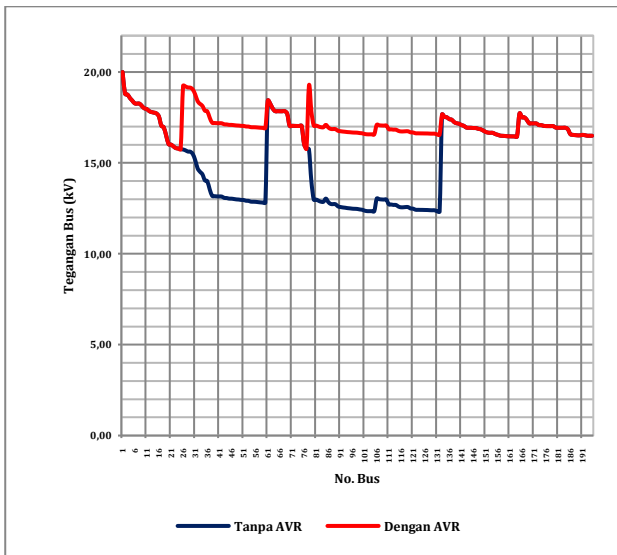
No. Bus	Gardu	Tegangan Bus (kV)	
		Tanpa AVR	Dengan AVR
1	GH KUALA DUA	20,0000	20,0000
2	RJ 0062 RJ	18,8034	18,8034
3	RJ 0046 RJ	18,7696	18,7696
4	RJ 0047 RJ	18,5753	18,5753
5	RJ 0048 RJ	18,4293	18,4293
6	RJ 0050 RJ	18,2766	18,2766
7	RJ 0051 RJ	18,2621	18,2621
8	RJ 0052 RJ	18,2606	18,2606

9	RJ 0053 RJ	18,1291	18,1291
10	TITIK 1	17,9998	17,9998
11	RJ 0054 RJ	17,9637	17,9637
12	RJ 0056 RJ	17,8502	17,8502
13	RJ 0032 TL	17,7968	17,7968
14	RJ 0001 TL	17,7644	17,7644
15	RJ 0034 TL	17,7212	17,7212
16	RJ 0027 TL	17,5575	17,5575
17	TITIK 13	17,0524	17,0524
18	RJ 0021 PL	16,9582	16,9582
19	RJ 0018 PL	16,5104	16,5104
20	RJ 0026 PL	16,0346	16,0346
21	RJ 0009 PL	16,0080	16,0080
22	RJ 0008 PL	15,9103	15,9103
23	RJ 0006 PL	15,8130	15,8130
24	TITIK 14	15,7950	15,7950
25	TITIK 15	15,7536	15,7536
26	RJ 0001 PL	15,7373	19,2411
27	RJ 0002 PL	15,6908	19,2031
28	RJ 0004 PL	15,6251	19,1493
29	RJ 0005 PL	15,6147	19,1409
30	RJ 0023 PL	15,4889	19,0383
31	RJ 0024 PL	15,1567	18,7679
32	RJ 0011 PL	14,7013	18,4002
33	RJ 0020 PL	14,5118	18,2488
34	RJ 0022 PL	14,3696	18,1357
35	RJ 0012 PL	14,0394	18,8741
36	RJ 0019 PL	13,9937	17,8382
37	RJ 0004 AP	13,5455	17,4866
38	TITIK 17	13,1918	17,2126
39	RJ 0002 AP	13,1703	17,1961
40	RJ 0003 AP	13,1583	17,1869
41	RJ 0001 AP	13,1550	17,1844
42	RJ 0005 AP	13,1485	17,1794
43	RJ 0006 AP	13,0756	17,1237
44	RJ 0007 AP	13,0680	17,1178
45	RJ 0008 AP	13,0357	17,0932
46	RJ 0009 AP	13,0336	17,0916
47	RJ 0010 AP	13,0141	17,0767
48	RJ 0011 AP	12,9936	17,0611
49	RJ 0012 AP	12,9840	17,0538
50	RJ 0015 AP	12,9644	17,0388
51	RJ 0016 AP	12,9597	17,0353
52	RJ 0018 AP	12,9183	17,0038
53	RJ 0019 AP	12,9120	16,9990
54	TITIK 18	12,8690	16,9664
55	RJ 0022 AP	12,8644	16,9628
56	RJ 0021 AP	12,8580	16,9580
57	RJ 0025 AP	12,8426	16,9463
58	RJ 0026 AP	12,8276	16,9350
59	RJ 0024 AP	12,8180	16,9277
60	RJ 0027 AP	12,8170	16,9269
61	RJ 0049 RJ	18,4278	18,4278
62	RJ 0075 RJ	18,2577	18,2577
63	RJ 0055 RJ	17,9992	17,9992
64	TITIK 2	17,8480	17,8480
65	RJ 0058 RJ	17,8455	17,8455
66	RJ 0059 RJ	17,8418	17,8418
67	RJ 0074 RJ	17,8415	17,8415
68	RJ 0057 RJ	17,8471	17,8471
69	TITIK 3	17,7148	17,7148
70	RJ 0014 PL	17,0457	17,0457
71	RJ 0015 PL	17,0420	17,0420
72	RJ 0025 PL	17,0367	17,0367
73	TITIK 16	17,0319	17,0319
74	RJ 0017 PL	17,0314	17,0314
75	RJ 0016 PL	17,0298	17,0298
76	RJ 0010 PL	16,0337	16,0337
77	RJ 0007 PL	15,7919	15,7919
78	RJ 0003 PL	15,7529	19,2538
79	RJ 0013 PL	13,9924	17,8372
80	RJ 0013 AP	12,9829	17,0529
81	RJ 0014 AP	12,9838	17,0536
82	RJ 0017 AP	12,9165	17,0024
83	RJ 0020 AP	12,8654	16,9636
84	RJ 0023 AP	12,8633	16,9620
85	RJ 0021 KB	13,0367	17,0937

86	RJ 0015 KB	12,8482	16,9500
87	RJ 0014 KB	12,7423	16,8697
88	RJ 0016 KB	12,7330	16,8627
89	RJ 0013 KB	12,7274	16,8584
90	TITIK 19	12,6075	16,7679
91	TITIK 20	12,5750	16,7435
92	RJ 0004 KB	12,5508	16,7253
93	RJ 0005 KB	12,5333	16,7122
94	RJ 0006 KB	12,5118	16,6961
95	TITIK 21	12,4993	16,6867
96	RJ 0007 KB	12,4809	16,6729
97	RJ 0008 KB	12,4746	16,6682
98	RJ 0027 KB	12,4671	16,6625
99	RJ 0028 KB	12,4395	16,6419
100	RJ 0029 KB	12,4224	16,6291
101	RJ 0036 KB	12,3746	16,5935
102	RJ 0037 KB	12,3480	16,5736
103	TITIK 22	12,3460	16,5721
104	RJ 0038 KB	12,3454	16,5717
105	RJ 0041 KB	12,3429	16,5698
106	RJ 0022 KB	13,0336	17,0914
107	RJ 0023 KB	13,0050	17,0695
108	RJ 0024 KB	12,9907	17,0587
109	RJ 0025 KB	12,9830	17,0528
110	RJ 0026 KB	12,9827	17,0526
111	RJ 0017 KB	12,7224	16,8546
112	RJ 0018 KB	12,7111	16,8461
113	RJ 0019 KB	12,6884	16,8290
114	RJ 0020 KB	12,6864	16,8275
115	RJ 0001 KB	12,5963	16,7595
116	RJ 0011 KB	12,5596	16,7319
117	RJ 0012 KB	12,5595	16,7319
118	RJ 0002 KB	12,5719	16,7412
119	RJ 0003 KB	12,5691	16,7391
120	RJ 0009 KB	12,4914	16,6808
121	RJ 0010 KB	12,4858	16,6766
122	RJ 0042 KB	12,4250	16,6311
123	RJ 0031 KB	12,4202	16,6275
124	TITIK 23	12,4165	16,6247
125	RJ 0030 KB	12,4149	16,6236
126	TITIK 24	12,4109	16,6206
127	RJ 0032 KB	12,4083	16,6186
128	RJ 0033 KB	12,3988	16,6115
129	RJ 0034 KB	12,3949	16,6086
130	RJ 0035 KB	12,3936	16,6077
131	RJ 0039 KB	12,3382	16,5663
132	RJ 0040 KB	12,3239	16,5556
133	RJ 0003 TL	17,6602	17,6602
134	RJ 0030 TL	17,5303	17,5303
135	TITIK 4	17,5100	17,5100
136	RJ 0006 TL	17,4080	17,4080
137	TITIK 5	17,3775	17,3775
138	RJ 0008 TL	17,2465	17,2465
139	TITIK 6	17,1830	17,1830
140	RJ 0009 TL	17,1566	17,1566
141	TITIK 7	17,0835	17,0835
142	TITIK 8	17,0413	17,0413
143	RJ 0021 TL	16,9459	16,9459
144	TITIK 10	16,9336	16,9336
145	RJ 0022 TL	16,9315	16,9315
146	RJ 0023 TL	16,9185	16,9185
147	RJ 0029 TL	16,9166	16,9166
148	RJ 0028 TL	16,8758	16,8758
149	TITIK 11	16,8493	16,8493
150	RJ 0014 SP	16,7790	16,7790
151	RJ 0015 SP	16,7087	16,7087
152	RJ 0001 SP	16,6676	16,6676
153	RJ 0002 SP	16,6570	16,6570
154	RJ 0003 SP	16,6541	16,6541
155	TITIK 12	16,5874	16,5874
156	RJ 0021 SP	16,5484	16,5484
157	RJ 0016 SP	16,5015	16,5015
158	RJ 0020 SP	16,4907	16,4907
159	RJ 0006 SP	16,4809	16,4809
160	RJ 0007 SP	16,4676	16,4676
161	RJ 0009 SP	16,4619	16,4619
162	RJ 0010 SP	16,4592	16,4592

163	RJ 0022 SP	16,4570	16,4570
164	RJ 0008 SP	16,4558	16,4558
165	RJ 0002 TL	17,7142	17,7142
166	RJ 0005 TL	17,5087	17,5087
167	RJ 0004 TL	17,5076	17,5076
168	RJ 0007 TL	17,3760	17,3760
169	RJ 0010 TL	17,1786	17,1786
170	RJ 0011 TL	17,1755	17,1755
171	RJ 0012 TL	17,1720	17,1720
172	RJ 0013 TL	17,1710	17,1710
173	RJ 0015 TL	17,0826	17,0826
174	RJ 0014 TL	17,0797	17,0797
175	RJ 0016 TL	17,0394	17,0394
176	RJ 0017 TL	17,0279	17,0279
177	TITIK 9	17,0255	17,0255
178	RJ 0018 TL	17,0246	17,0246
179	RJ 0019 TL	17,0227	17,0227
180	RJ 0020 TL	16,9401	16,9401
181	RJ 0033 TL	16,9339	16,9339
182	RJ 0031 TL	16,9335	16,9335
183	RJ 0024 TL	16,9335	16,9335
184	RJ 0025 TL	16,9329	16,9329
185	RJ 0026 TL	16,8490	16,8490
186	RJ 0017 SP	16,5839	16,5839
187	RJ 0012 SP	16,5451	16,5451
188	RJ 0011 SP	16,5294	16,5294
189	RJ 0001 KK	16,5166	16,5166
190	RJ 0002 KK	16,5162	16,5162
191	RJ 0013 SP	16,5412	16,5412
192	RJ 0018 SP	16,5258	16,5258
193	RJ 0005 SP	16,4965	16,4965
194	RJ 0019 SP	16,4955	16,4955
195	RJ 0004 SP	16,4944	16,4944

Berdasarkan Tabel 1, grafik perbandingan tegangan bus tanpa dan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Tegangan Bus Penyulang Durian 4

Dengan pemasangan AVR pada bus 25 mempengaruhi tegangan bus beban yang dicatu dari bus tersebut yaitu bus 26 sampai dengan bus 60 dan bus 78 sampai dengan bus 132 mengalami peningkatan. Bus terakhir yang dicatu oleh AVR yaitu bus 132 (Gardu RJ 0040 KB) dengan persentase jatuh tegangan sebesar 17,2219% atau besarnya tegangan bus 16,5556 kV yang tanpa AVR

persentase jatuh tegangan pada bus 132 hanya sebesar 38,3807% atau 12,3239 kV. Akan tetapi secara keseluruhan masih ada bus beban yang mengalami jatuh tegangan dengan persentase jatuh tegangan melebihi standar yang diijinkan SPLN No. 72 tahun 1987 yaitu lebih dari 5%. atau kurang dari 19 kV.

#### 4.2. Dampak Pemasangan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* Terhadap Rugi-Rugi Daya Aktif Penyulang Durian 4

Pemasangan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* pada bus 25 penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya berdampak pada berkurangnya rugi-rugi daya aktif pada seksi/cabang saluran yang dicatu dari bus 25. Perbandingan rugi-rugi daya aktif tanpa dan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif Pada Penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya

No. Cabang	Bus		Gardu		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)	
	Dari	Ke	Dari	Ke	Tanpa AVR	Dengan AVR
1	1	2	GH KUALA DUA	RJ 0062 RJ	169,585	169,585
2	2	3	RJ 0062 RJ	RJ 0046 RJ	4,463	4,463
3	3	4	RJ 0046 RJ	RJ 0047 RJ	25,878	25,878
4	4	5	RJ 0047 RJ	RJ 0048 RJ	19,134	19,134
5	5	6	RJ 0048 RJ	RJ 0050 RJ	19,891	19,891
6	6	7	RJ 0050 RJ	RJ 0051 RJ	1,859	1,859
7	7	8	RJ 0051 RJ	RJ 0052 RJ	0,180	0,180
8	8	9	RJ 0052 RJ	RJ 0053 RJ	16,368	16,368
9	9	10	RJ 0053 RJ	TITIK 1	15,809	15,809
10	10	11	TITIK 1	RJ 0054 RJ	4,389	4,389
11	11	12	RJ 0054 RJ	RJ 0056 RJ	13,779	13,779
12	12	13	RJ 0056 RJ	RJ 0032 TL	6,253	6,253
13	13	14	RJ 0032 TL	RJ 0001 TL	3,761	3,761
14	14	15	RJ 0001 TL	RJ 0034 TL	4,996	4,996
15	15	16	RJ 0034 TL	RJ 0027 TL	18,803	18,803
16	16	17	RJ 0027 TL	TITIK 13	60,560	60,560
17	17	18	TITIK 13	RJ 0021 PL	10,651	10,651
18	18	19	RJ 0021 PL	RJ 0018 PL	52,552	52,552
19	19	20	RJ 0018 PL	RJ 0026 PL	57,094	57,094
20	20	21	RJ 0026 PL	RJ 0009 PL	3,073	3,073
21	21	22	RJ 0009 PL	RJ 0008 PL	11,330	11,330
22	22	23	RJ 0008 PL	RJ 0006 PL	11,272	11,272
23	23	24	RJ 0006 PL	TITIK 14	2,058	2,058
24	24	25	TITIK 14	TITIK 15	4,674	4,674
25	25	26	TITIK 15	RJ 0001 PL	1,819	1,217
26	26	27	RJ 0001 PL	RJ 0002 PL	5,161	3,446
27	27	28	RJ 0002 PL	RJ 0004 PL	7,278	4,845
28	28	29	RJ 0004 PL	RJ 0005 PL	1,142	0,760
29	29	30	RJ 0005 PL	RJ 0023 PL	13,898	9,199
30	30	31	RJ 0023 PL	RJ 0024 PL	37,825	24,669
31	31	32	RJ 0024 PL	RJ 0011 PL	53,765	34,321
32	32	33	RJ 0011 PL	RJ 0020 PL	21,913	13,857
33	33	34	RJ 0020 PL	RJ 0022 PL	16,351	10,265
34	34	35	RJ 0022 PL	RJ 0012 PL	39,066	24,102
35	35	36	RJ 0012 PL	RJ 0019 PL	5,261	3,238
36	36	37	RJ 0019 PL	RJ 0004 AP	52,979	31,790
37	37	38	RJ 0004 AP	TITIK 17	42,552	24,994
38	38	39	TITIK 17	RJ 0002 AP	0,757	0,444
39	39	40	RJ 0002 AP	RJ 0003 AP	0,392	0,230
40	40	41	RJ 0003 AP	RJ 0001 AP	0,105	0,062
41	41	42	RJ 0001 AP	RJ 0005 AP	0,202	0,118
42	42	43	RJ 0005 AP	RJ 0006 AP	2,173	1,267
43	43	44	RJ 0006 AP	RJ 0007 AP	0,204	0,119
44	44	45	RJ 0007 AP	RJ 0008 AP	0,816	0,475
45	45	46	RJ 0008 AP	RJ 0009 AP	0,049	0,029
46	46	47	RJ 0009 AP	RJ 0010 AP	0,435	0,253





Total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya berkurang sebesar 137,169 kW menjadi 809,939 kW yang awalnya tanpa pemasangan AVR sebesar 947,108 kW.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa perbaikan jatuh tegangan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya tanpa pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Keseluruhan bus pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya mengalami jatuh tegangan dengan persentase jatuh tegangan melebihi standar yang diijinkan SPLN No. 72 tahun 1987 yaitu lebih dari 5%. Bahkan terdapat persentase jatuh tegangan bus yang mencapai 38,3807% yaitu sebesar 12,3239 kV terjadi di bus 132 (Gardu RJ 0040 KB). Sedangkan total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya sebesar 947,108 kW.
2. Lokasi pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 terletak dengan bus 25 (Titik 15) dengan hasil perhitungan rasio tegangan sebesar 0,818, sehingga dengan pemasangan AVR diharapkan tegangan kirim bus 25 (Titik 15) meningkat sebesar 19,2544 kV yang sebelumnya sebesar 15,7536 kV.
3. Hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Tegangan bus beban yang dicatu dari bus 25 yaitu bus 26 sampai dengan bus 60 dan bus 78 sampai dengan bus 132 mengalami peningkatan. Persentase jatuh tegangan pada bus 132 (Gardu RJ 0040 KB) sebesar 17,2219% atau besarnya tegangan bus 16,5556 kV.
4. Pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) mereduksi besarnya rugi-rugi daya aktif pada seksi/cabang saluran yang dicatu dari yaitu bus 25, sehingga total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada penyulang Durian 4 berkurang sebesar 137,169 kW menjadi 809,939 kW yang awalnya tanpa pemasangan AVR sebesar 947,108 kW.
5. Mengacu pada persentase jatuh tegangan melebihi standar yang diijinkan berdasarkan ketentuan SPLN No. 72 tahun 1987 yaitu lebih dari 5%. atau kurang dari 19 kV. Tanpa pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 diperoleh jumlah bus dengan tegangan kurang dari 19 kV sebanyak 194 bus dengan tegangan minimal sebesar 12,3239 kV yang terjadi di bus 132 (Gardu RJ 0040 KB), sedangkan dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan lokasi pemasangan setelah bus 25 diperoleh jumlah bus dengan tegangan kurang dari 19 kV sebanyak 188 bus dengan tegangan

minimal sebesar 15,7536 kV yang terjadi di bus 25 (Titik 15).

6. Dengan pemasangan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) di bus 25 dan bus 69 pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya. Jumlah bus dengan persentase jatuh tegangan melebihi standar yang diijinkan SPLN No. 72 tahun 1987 yaitu lebih dari 5% berkurang menjadi 123 bus, dengan tegangan minimal terjadi pada bus 24 (RJ 0010 PL) yaitu sebesar 15,7950 kV Dengan demikian penambahan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Rayon Rasau Jaya dapat meningkatkan kualitas tegangan bus.

## Referensi

- [1] Binsar Daniel Sandi, dkk. 2016. Studi Pemasangan Step Voltage Regulator dengan Model Injeksi Daya pada Jaringan Menengah 20 kV Penyulang Katu Gardu Induk Menggala. Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. Volume 10, No. 2, Mei 2016.
- [2] Ija Darmana. 2015. Perbaikan Jatuh Tegangan Dengan Pemasangan *Automatic Voltage Regulator*. Jurusan Teknik Elektro –Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta. *JURNAL IPTEKS TERAPAN-Research of Applied Science and Education* V8.i4 (242-251).
- [3] Hontong Jonal, Noiki dan Tuegeh Maickel, 2015. Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN Palu. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*. Jurusan Teknik Elektro FT-UNSRAT, Manado.
- [4] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. New York :McGraw-Hill Book Company
- [5] W.H. Kersting. 2002. *Distribution System Modeling and Analysis*, CRC Press. Boca Raton. FL.2002.
- [6] Cooper Power Systems. 2007. “Voltage Regulators”. Cooper Power Systems, inc.2007.
- [7] Hutaaruk, TS. 1985. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [8] Gonen, Turan. 2008, *Electrical Power Distribution System Engineering Second Edition*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- [9] Sirait, Bonar. 2012. *Diktat Kuliah Sistem Distribusi*. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [10] SPLN 59. 1985. *Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [11] SPLN No. 72. 1987. *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.

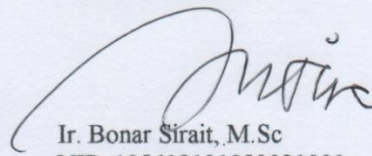
## Biography



**Muhamad Sika Maheka** lahir di Demak pada tanggal 13 Mei 1992. Menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri Katonsari III Demak lulus pada tahun 2004, dan melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Demak lulus pada tahun 2007, kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Demak lulus pada tahun 2010.

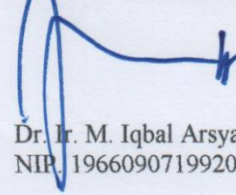
Pendidikan terakhir yang diperoleh yaitu Diploma III (D3) Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Semarang lulus pada tahun 2014. Selanjutnya memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Program Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2019. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui :  
Pembimbing Utama,



Ir. Bonar Sirait, M.Sc  
NIP. 195608131983021001

Pembimbing Pembantu,



Dr. Ir. M. Iqbal Arsyad, MT  
NIP. 196609071992031002