

STUDI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA AKIBAT PENAMBAHAN GARDU DISTRIBUSI SISIPAN TERHADAP JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV

Andini Nada Nisrina¹⁾, Dr. Ir. M. Iqbal Arsyad, M.T,IPM²⁾, Ir. Bonar Sirait, M.Sc, IPM.³⁾

^{1, 2,3)} Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : andininada16@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan gardu distribusi sisipan terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang. Pemasangan gardu distribusi sisipan bertujuan untuk mengatasi *overload* yang terjadi pada transformator agar tidak terjadi kerusakan pada gardu distribusi. Penelitian ini dilakukan menggunakan studi aliran daya dengan metode pendekatan langsung (*direct method*) untuk mengetahui nilai tegangan bus serta aliran daya aktif dan reaktif yang mengalir terhadap setiap skenario pemasangan gardu distribusi sisipan yang dilakukan. Penelitian ini dilakukan pada Penyulang Raya 15 dan Penyulang Durian 3 dengan 5 skenario penambahan gardu distribusi sisipan yaitu penambahan 1 gardu, penambahan 2 gardu, penambahan 3 gardu, penambahan 1 gardu dengan kapasitas yang lebih besar dan penambahan gardu pada bus baru. Berdasarkan hasil yang didapat dapat disimpulkan bahwa pemasangan gardu distribusi sisipan pada jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV memiliki dampak yang kurang baik terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang. Semakin banyak gardu distribusi sisipan yang dipasang pada suatu penyulang dan semakin besar kapasitas gardu distribusi yang dipasang, maka rugi daya yang terjadi akan semakin besar pula hal tersebut diakibatkan oleh arus yang mengalir pada gardu dan beban yang terdapat pada gardu distribusi. Semakin besar beban pada gardu distribusi maka arus yang mengalir pada gardu tersebut juga akan semakin besar. Oleh karena itu diperlukan adanya pemasangan injeksi daya reaktif, penggantian kabel penghantar ataupun pemasangan *Distributed Generation* untuk memperbaiki profil tegangan dan rugi daya yang terjadi pada jaringan tegangan menengah.

Kata kunci : Gardu Distribusi Sisipan, Rugi-Rugi Daya, Studi Aliran Daya, Pendekatan Langsung

Abstract

This research was conducted to determine the effect of the insertion distribution substation installation on the voltage profile and power losses that occur in the feeder. The installation of the insertion distribution substation aims to overcome the overload that occurs in the transformer so that there is no damage to the distribution substation. This research was conducted using a power flow study with a direct method to determine the value of the bus voltage as well as the active and reactive power flows that flowed in each scenario of the installation of the insertion distribution substation carried out. This research was conducted at Feeder Raya 15 and Feeder Durian 3 with 5 scenarios of adding insertion distribution substations, namely the addition of 1 substation, the addition of 2 substations, the addition of 3 substations, the addition of 1 substation with a larger capacity and the addition of a substation on the new bus. Based on the results obtained, it can be concluded that the installation of distribution substation inserts on the medium voltage network (JTM) 20 kV has an unfavorable impact on the voltage profile and power losses that occur in the feeder. The more distribution substation inserts are installed on a feeder and the greater the capacity of the distribution substation installed, the greater the power loss that will occur due to the current flowing in the substation and the load on the distribution substation. The greater the load on the distribution substation, the greater the current flowing at the substation. Therefore, it is necessary to install reactive power injection, replace conductor cables or install Distributed Generation to improve the voltage profile and power losses that occur in medium voltage networks.

Keywords : Insertion Distribution Substation, Power Loss, Power Flow Study, Direct Method

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan ekonomi dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Perkembangan permintaan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat perlu diimbangi dengan peningkatan perluasan jaringan listrik dalam penyaluran energi listrik ke konsumen sehingga dapat berjalan lancar sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Dalam penyaluran energi listrik ke konsumen diperlukan adanya sistem distribusi yang berguna untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan tenaga listrik

pada konsumen tegangan rendah. Komponen terpenting pada gardu distribusi adalah transformator tenaga. Dalam proses distribusi, transformator digunakan sebagai alat yang dapat mentransformasikan tegangan tersebut dari sistem transmisi hingga sampai kepada pelanggan. Pada kondisi ini, suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal.

Transformator mempunyai tingkatan kemampuan kapasitas yang berbeda-beda. Setiap jumlah pelanggan dan kebutuhan listrik bertambah maka beban transformator juga terus bertambah sehingga lama kelamaan transformator sudah tidak mampu lagi untuk memikul beban yang sudah melebihi kemampuannya. Apabila hal tersebut terus-menerus dipaksakan

transformator akan mengalami beban lebih (*overload*) yang dapat menyebabkan transformator meledak sehingga membuat kerugian bagi pihak PLN sendiri. Transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 % atau dibawah 40 %. Transformator dapat dikatakan *overload* jika kapasitas pembebanannya lebih dari 80% [6]. Apabila hal ini terjadi dalam waktu yang lama, maka isolasi transformator akan mengalami kerusakan akibat panas yang berlebihan dan berujung pada rusaknya transformator. Adapun salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan metode pemasangan gardu distribusi sisipan. Sisip transformator dilakukan ketika transformator mengalami beban lebih atau turun tegangan. Dengan adanya metode sisip transformator diharapkan dapat menanggulangi pertumbuhan beban yang tiap tahunnya bertambah dan memberikan keselamatan bagi transformator yang sudah *overload*. Dalam pendistribusian tenaga listrik akan lebih aman karena sebagian beban akan mendapatkan suplai dari transformator sisip.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke GI untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt atau 220/127 Volt, kemudian disalurkan melalui JTR untuk selanjutnya disalurkan ke rumah rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah [5]. Sistem distribusi adalah semua bagian dari sistem tenaga listrik yang terletak diantara sumber daya besar dan jaringan pelayanan pelanggan. Sistem distribusi dapat dibagi dalam dua sub bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

2.2 Gardu Distribusi Sisipan

Gardu distribusi sisipan merupakan gardu tambahan yang dipasang oleh PT. PLN (Persero) untuk menanggulangi berbagai kerugian yang ditimbulkan oleh transformator pada gardu sebelumnya. Gardu ini berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumentegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah. Adapun beberapa faktor yang dipertimbangkan oleh PT.PLN (Persero) untuk menambah trafo atau gardu sisipan adalah :

a. Transformator sebelumnya sudah *overload*

Overload terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari trafo. Transformator distribusi diusahakan tidak dibebani lebih dari 80% atau dibawah 40%. Jika melebihi atau kurang dari nilai tersebut transformator bisa dikatakan *overload* atau *underload* [6].

b. Besarnya jatuh tegangan pada JTR

Pengaturan tegangan dan turun tegangan, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja. Turun tegangan pada STR dibolehkan sampai 4% dari tegangan kerja [7]. Penyebab timbulnya jatuh tegangan ialah dipengaruhi oleh arus beban puncak, tahanan saluran dan panjang saluran. Jatuh tegangan akan semakin besar jika satu atau lebih dari faktor diatas nilainya besar.

2.3 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar, dimana terdapat perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan yang paling besar terjadi pada saat beban puncak. Pada saat beban puncak, besar jatuh tegangan disetiap beban tidak boleh melebihi batas yang diijinkan. Berdasarkan pengertian diatas, jatuh tegangan pada suatu saluran dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$VR = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

ΔV = Jatuh Tegangan (V)

V_s = Tegangan Kirim (V)

V_r = Tegangan Terima (V)

VR = *Voltage Regulation*

Menurut persyaratan, jatuh tegangan yang diijinkan pada jaringan distribusi primer, trafo distribusi pertama dengan yang terakhir menurut standar tidak boleh melebihi 5%. Di dalam saluran tranmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan ditentukan pada setiap titik saluran. Pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. PT. PLN (Persero) mengatur tegangan standar tentang pengaturan tegangan dan turun tegangan [7].

Tabel 1 Pengaturan Tegangan dan Turun Tegangan

No.	Lokasi Kejadian	Standar Jatuh Tegangan
1	SUTM	5% dari tegangan kerja bagi sistem radial
2	SKTM	2% dari tegangan kerja bagi sistem spindel
3	Trafo Distribusi	3% dari tegangan kerja
4	SUTR	4% dari tegangan kerja
5	Sambungan Rumah (SR)	1% dari tegangan nominal

Sumber : SPLN No. 72 Tahun 1987

2.4 Rugi Daya

Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban. Perhitungan susut daya dilakukan dengan menghitung selisih antara daya yang dibangkitkan dengan daya yang terjual. Ada beberapa

cara yang dapat digunakan dalam menentukan rugi-rugi daya pada jaringan sistem distribusi, diantaranya :

1. Rumus eksak, rugi-rugi daya dapat ditentukan dengan menghitung rugi-rugi yang terdapat di sepanjang saluran dan rugi-rugi transformator. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya dan tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan. Rugi-rugi ini disebut juga dengan rugi-rugi I^2R menggunakan rumus eksak, seperti persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Rugi daya nyata} &= I^2 \cdot R \text{ (watt)} \\ \text{Rugi daya reaktif} &= I^2 \cdot X \text{ (watt)} \\ \text{Rugi daya semu} &= \sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

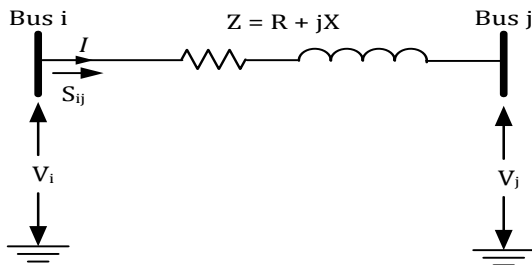
Dimana :

- I = Arus (A)
- R = Resistansi (Ohm)
- X = Reaktansi (Ohm)

2. Studi aliran daya, pada umumnya menggunakan komputasi dengan bantuan komputer karena menerapkan proses iterasi/pengulangan sehingga hasilnya lebih akurat. Studi aliran daya dapat memberikan informasi mengenai besarnya tegangan dan sudut pada setiap bus, daya aktif dan reaktif yang disuplai, daya aktif dan reaktif yang mengalir dalam tiap seksi saluran, dan rugi-rugi sistem.

2.5 Studi Aliran Daya Metode Pendekatan Langsung Pada Sistem Distribusi

Dalam sistem distribusi terdapat satu bus tegangan (*bus voltage*), bus GI, yang dihubungkan secara radial pada bus-bus beban. Penyelesaian aliran daya memberikan informasi besarnya tegangan dan sudut pada setiap bus, daya aktif dan reaktif yang di suplai, daya aktif dan reaktif yang mengalir dalam tiap seksi saluran, dan rugi-rugi sistem [10].



Gambar 1 Model Bus Sistem Tenaga Listrik
(Sumber : Bonar Sirait, Diktat Kuliah Analisa Sistem Tenaga)

Arus yang mengalir pada bus ke-i ke bus-j adalah :

$$I_{ij} = (V_i - V_j)y_{ij} \quad (3)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada salah satu bus ke-i bus ke-j adalah :

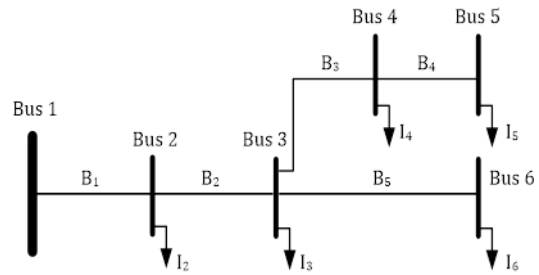
$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_i^* \quad (4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan ke dalam persamaan, maka :

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \{(V_i - V_j)y_{ij}\}^* \quad (5)$$

Untuk jaringan distribusi hantaran udara tegangan menengah (SUTM), pada umumnya saluran relatif pendek, dan efek kapasitansi saluran dapat diabaikan,

sehingga saluran dapat direpresentasikan sebagai impedansi seri [11].



Gambar 2 Jaringan Distribusi Radial Sederhana

(Sumber : Teng, 2003. A Direct Approach for Distribution System Load Flow)

Pada suatu jaringan struktur radial berlaku hubungan $m = n-1$, dimana m melambangkan jumlah cabang, dan n melambangkan jumlah bus. Untuk jaringan distribusi radial yang ditunjukkan dengan gambar 1 maka:

Jumlah bus (n) = 6, yaitu : {Bus 1, Bus 2, Bus 3, Bus 4, Bus 5, Bus 6}

Jumlah cabang (m) = 5, yaitu : {B₁, B₂, B₃, B₄, B₅}.

Untuk sistem distribusi permodelan lebih mudah menggunakan berdasarkan arus injeksi . Pada bus ke- i , beban kompleks S_i dinyatakan sebagai :

$$S_i = P_i + j Q_i \quad , \quad i = 1,2,3,\dots,N \quad (6)$$

Arus injeksi ekuivalen pada iterasi ke- k dari solusi adalah :

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + j Q_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (7)$$

a. Bus Injeksi ke Arus Cabang (BIAC)

Hubungan di antara injeksi arus bus dan arus cabang dapat diperoleh dengan bantuan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*) pada jaringan distribusi[11].

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Atau persamaan-persamaan ini dapat disusun sebagai berikut:

$$[B] = [BIAC][I] \quad (9)$$

b. Arus Cabang ke Tegangan Bus (ACTB)

Tegangan pada setiap bus dapat dinyatakan dengan fungsi dari arus cabang, parameter saluran dan tegangan sumber atau gardu induk sebagai berikut [11]:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Persamaan (10) tersebut di atas dapat dituliskan dalam bentuk umum sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [ACTB][B] \quad (11)$$

c. Metodologi Penyelesaian Aliran Daya Sistem Distribusi Radial

Matrik-matrik BIAC dan ACTB dibentuk berdasarkan struktur topologi sistem distribusi. Matrik BIAC menyatakan hubungan antara arus injeksi bus dan arus cabang. Menyatakan variasi-variasi pada arus cabang yang didapatkan dari variasi-variasi arus injeksi bus dapat dihitung secara langsung oleh matrik BIAC. Matrik ACTB menyatakan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Menyatakan variasi-variasi pada tegangan bus yang diperoleh dengan variasi-variasi pada arus cabang dapat ditentukan secara langsung oleh matrik ACTB. Penggabungan persamaan (9) dan persamaan (11) akan diperoleh hubungan antara arus injeksi bus dan tegangan bus sebagai berikut [12] :

$$[ALD] = [ACTB][BIAC] \quad (12)$$

$$[\Delta V] = [ACTB][BIAC][I]$$

$$[\Delta V] = [ALD][I]$$

Aliran daya aktif dan daya reaktif diperoleh sebagai berikut :

$$P_{ij} = \text{real}[V_i\{(V_i - V_j)y_{ij}\}^*] \quad (13)$$

$$Q_{ij} = \text{imag}[V_i\{(V_i - V_j)y_{ij}\}^*]$$

Total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada jaringan dinyatakan :

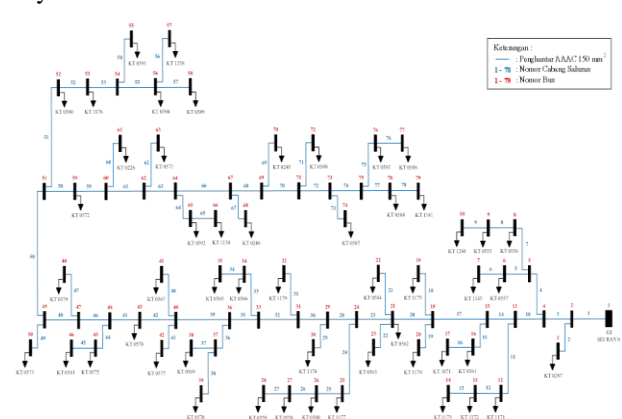
$$P_{Loss} = \text{real}\{V_{ss} \sum_{j \in SS} [(V_{ss} - V_j)y_{ss,j}]^* - \sum_{j=1}^N PD_j\} \quad (14)$$

3. Metodologi Penelitian

Data yang peneliti gunakan merupakan data *single line diagram*, data pembebanan dan data saluran pada Penyulang Raya 15 dan Penyulang Durian 3 yang diberikan oleh UP3 Pontianak

3.1. Penyulang Raya 15

Penyulang Raya 15 dialiri sumber listrik yang berasal dari Gardu Induk Sungai Raya. Penyulang ini memiliki panjang sebesar 21,30 Km dan terdiri dari 79 bus. Berikut merupakan *Single Line Diagram* Penyulang Raya 15 :



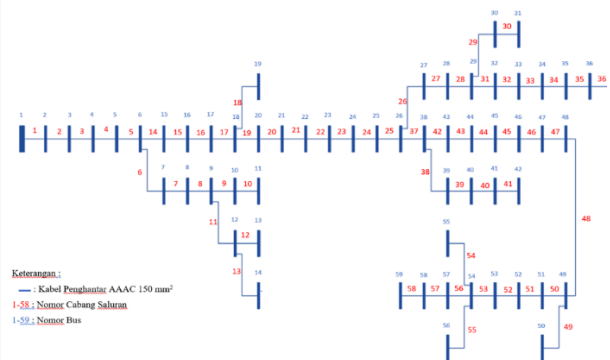
Gambar 3 *Single Line Diagram* Penyulang Raya 15

(Sumber : UP3 Pontianak)

3.2 Penyulang Durian 3

Penyulang Durian 3 dialiri sumber listrik yang berasal dari Gardu Induk Sungai Raya. Penyulang terdiri

dari 59 Bus. Berikut merupakan *Single Line Diagram* Penyulang Durian 3 :



Gambar 4 *Single Line Diagram* Penyulang Durian 3

(Sumber : UP3 Pontianak)

4. Hasil dan Analisis

4.1 Penyulang Raya 15

Standarisasi pembebanan untuk sebuah transformator adalah sebesar 80% dari kapasitas transformator. Apabila transformator memiliki presentase pembebanan lebih dari 80% maka transformator tersebut dapat dikatakan *overload*. Pada penyulang raya 15 diketahui terdapat beberapa gardu yang mengalami *overload* dimana pembebanan pada gardu tersebut melebihi standar yang telah ditentukan. Adapun upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan melakukan pemasangan gardu distribusi sisipan pada gardu yang mengalami *overload*. Pada penelitian ini dilakukan 5 skenario penambahan gardu distribusi sisipan pada bus-bus yang mengalami *overload*. Pada skenario pertama dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 dengan kapasitas gardu sebesar 100 kW dan 85 kVAR. Pada skenario kedua dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 dan bus 29, dimana pada bus 29 dengan kapasitas gardu sebesar 200 kW dan 160 kVAR. Pada skenario ketiga dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18,29 dan 33, dimana pada bus 33 kapasitas gardu sebesar 250 kW dan 190 kVAR. Pada skenario keempat dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 dengan kapasitas gardu yang lebih besar dibandingkan dengan skenario pertama yaitu sebesar 149.1 kW dan 92.4 kVAR. Pada skenario kelima dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus baru yaitu bus 80 yang berada di dekat bus 12 dengan jarak sejauh 0.125 km. Adapun perbandingan profil tegangan pada setiap skenario berdasarkan hasil simulasi aliran daya ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2 Perbandingan Profil Tegangan Penyulang Raya 15

Bus	Tanpa Sisip	Skenario				
		1	2	3	4	5
1	20	20	20	20	20	20
2	19.73	19.73	19.72	19.71	19.71	19.75
3	19.73	19.73	19.72	19.71	19.71	19.75
4	19.43	19.42	19.41	19.39	19.39	19.47

Lanjutan Tabel 2

Bus	Tanpa Sisip	Skenario				
		1	2	3	4	5
5	19.43	19.42	19.41	19.39	19.39	19.46
6	19.43	19.42	19.41	19.39	19.39	19.46
7	19.43	19.42	19.41	19.39	19.39	19.46
8	19.43	19.42	19.4	19.38	19.38	19.46
9	19.43	19.42	19.4	19.38	19.38	19.46
10	19.43	19.42	19.4	19.38	19.38	19.46
11	19.38	19.37	19.35	19.33	19.33	19.41
12	19.37	19.37	19.35	19.33	19.33	19.41
13	19.37	19.37	19.35	19.33	19.33	19.41
14	19.37	19.37	19.35	19.33	19.33	19.41
15	19.32	19.31	19.29	19.27	19.27	19.36
16	19.32	19.31	19.29	19.27	19.27	19.36
17	19.32	19.31	19.29	19.26	19.26	19.36
18	19.27	19.26	19.24	19.22	19.22	19.32
19	19.26	19.25	19.23	19.2	19.2	19.3
20	19.27	19.26	19.24	19.22	19.22	19.32
21	19.23	19.22	19.2	19.17	19.17	19.28
22	19.23	19.22	19.2	19.17	19.17	19.28
23	19.23	19.22	19.2	19.17	19.17	19.28
24	19.2	19.19	19.17	19.14	19.14	19.26
25	19.2	19.19	19.17	19.14	19.14	19.26
26	19.2	19.19	19.17	19.14	19.14	19.25
27	19.2	19.19	19.17	19.14	19.14	19.25
28	19.2	19.19	19.17	19.14	19.14	19.25
29	19.13	19.12	19.1	19.06	19.06	19.19
30	19.13	19.12	19.1	19.06	19.06	19.19
31	18.98	18.97	18.94	18.9	18.9	19.06
32	18.97	18.96	18.93	18.89	18.89	19.06
33	18.96	18.95	18.93	18.88	18.88	19.05
34	18.96	18.95	18.93	18.88	18.88	19.05
35	18.96	18.95	18.93	18.88	18.88	19.05
36	18.9	18.89	18.86	18.82	18.82	19
37	18.9	18.89	18.86	18.82	18.82	19
38	18.9	18.89	18.86	18.82	18.82	19
39	18.9	18.89	18.86	18.82	18.82	19
40	18.87	18.86	18.83	18.79	18.79	18.97
41	18.87	18.86	18.83	18.79	18.79	18.97
42	18.87	18.86	18.83	18.79	18.79	18.97
43	18.86	18.85	18.83	18.78	18.78	18.97
44	18.86	18.85	18.82	18.78	18.78	18.96

Lanjutan Tabel 2

Bus	Tanpa Sisip	Skenario				
		1	2	3	4	5
45	18.86	18.85	18.82	18.78	18.78	18.96
46	18.86	18.85	18.82	18.78	18.78	18.96
47	18.84	18.83	18.8	18.76	18.76	18.95
48	18.84	18.83	18.8	18.76	18.76	18.95
49	18.84	18.83	18.8	18.75	18.75	18.95
50	18.84	18.83	18.8	18.75	18.75	18.95
51	18.83	18.82	18.79	18.75	18.75	18.94
52	18.82	18.81	18.79	18.74	18.74	18.94
53	18.82	18.81	18.79	18.74	18.74	18.94
54	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
55	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
56	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
57	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
58	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
59	18.82	18.81	18.79	18.74	18.74	18.94
60	18.82	18.81	18.79	18.74	18.74	18.94
61	18.82	18.81	18.79	18.74	18.74	18.94
62	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.94
63	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.94
64	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
65	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
66	18.82	18.81	18.78	18.74	18.74	18.93
67	18.82	18.8	18.78	18.73	18.73	18.93
68	18.82	18.8	18.78	18.73	18.73	18.93
69	18.81	18.8	18.78	18.73	18.73	18.93
70	18.81	18.8	18.78	18.73	18.73	18.93
71	18.81	18.8	18.78	18.73	18.73	18.93
72	18.81	18.8	18.78	18.73	18.73	18.93
73	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93
74	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93
75	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93
76	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93
77	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93
78	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93
79	18.81	18.8	18.77	18.73	18.73	18.93

Sumber : Hasil Data Olahan

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa nilai tegangan terima pada setiap skenario memiliki nilai yang berbeda-beda. Dimana nilai tegangan bus pada saat belum dilakukannya penyisipan gardu distribusi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan skenario setelah pemasangan gardu distribusi sisipan yang terdapat pada skenario 1,2,3 dan 4. Sedangkan nilai tegangan bus pada

skenario 5 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan skenario tanpa pemasangan gardu distribusi sisipan dan skenario lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan memengaruhi besarnya tegangan terima yang akan diterima oleh pelanggan. Dimana dengan dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada beberapa gardu yang mengalami *overload*, hasil tegangan terima yang diperoleh akan semakin menurun.

Diketahui nilai tegangan bus minimum pada Penyulang Raya 15 terletak pada bus 79 yaitu gardu distribusi KT 1181 yang berada pada ujung penyulang. Adapun besar tegangannya pada saat sebelum dilakukannya penyisipan gardu distribusi ialah sebesar 18.81 kV. Besar tegangan bus 79 pada skenario pertama ialah sebesar 18.8 kV. Besar tegangan bus 79 pada skenario kedua ialah sebesar 18.77 kV. Besar tegangan bus 79 pada skenario ketiga ialah sebesar 18.73 kV. Besar tegangan bus 79 pada skenario keempat ialah sebesar 18.8 kV. Dan besar tegangan bus 79 pada skenario kedua ialah sebesar 18.93 kV. Berdasarkan hasil simulasi yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa semakin besar kapasitas gardu distribusi sisipan yang dipasang maka semakin rendah nilai tegangan terima pada penyulang, seperti yang terdapat pada hasil simulasi skenario 1 dan skenario 4. Adapun skenario pemasangan gardu distribusi sisipan yang paling efektif untuk diterapkan ialah skenario 5, dimana dilakukannya pemasangan bus baru pada Penyulang Raya 15.

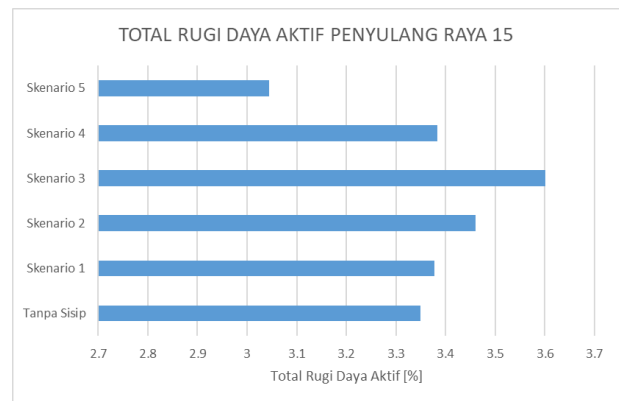
Berdasarkan hasil simulasi aliran daya pada Penyulang Raya 15, didapatlah aliran daya aktif dan aliran daya reaktif yang mengalir pada saluran. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan diketahui semakin besar arus yang mengalir pada suatu gardu maka besarnya daya yang mengalir pada gardu tersebut akan semakin besar, Berikut merupakan rekapitulasi aliran daya pada Penyulang Raya 15 di setiap skenario:

Tabel 3 Rekapitulasi Aliran Daya Penyulang Raya 15

Skenario	Daya Dibangkitkan		Beban		Total Rugi Daya Aktif
	kW	kVAR	kW	kVAR	
Tanpa Sisip	9081.58	5908.79	8777.4	5439.6	304.18
Skenario 1	9187.8	6003.41	8877.4	5524.6	310.4
Skenario 2	9402.79	6186.563	9077.4	5684.6	325.39
Skenario 3	9675.84	6411.99	9327.4	5874.6	348.44
Skenario 4	9239.07	6014.175	8926.5	5532	312.57
Skenario 5	9203.65	5162.475	8923.5	4730.3	280.15

Sumber : Hasil Data Olahan

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa nilai rugi-rugi daya mengalami kenaikan setiap penambahan gardu distribusi sisipan baik daya yang dibangkitkan oleh gardu hubung (GH) maupun daya beban yang terdapat pada penyulang. Sedangkan nilai tegangan bus minimum pada setiap skenario mengalami penurunan. Berikut merupakan perbandingan presentase total rugi daya aktif Penyulang Raya 15 pada setiap skenario:



Gambar 5 Perbandingan Total Rugi Daya Aktif Penyulang Raya 15

Berdasarkan gambar 5 diketahui total rugi daya aktif pada Penyulang Raya 15 mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya gardu distribusi yang disisip pada Penyulang Raya 15. Dimana pada saat belum ditambahkannya gardu distribusi sisipan total rugi daya aktif yang terjadi pada Penyulang Raya 15 ialah sebesar 3.349%. Pada skenario pertama dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.378%. Pada skenario kedua dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 dan bus 29 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.461%. Pada skenario ketiga dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18, bus 29 dan bus 33 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.601%. Pada skenario keempat dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 dengan kapasitas gardu yang lebih besar daripada skenario pertama total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.383%. Dan pada skenario kelima dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus baru yaitu bus 80 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.044%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa semakin banyak gardu yang dipasang pada suatu penyulang maka rugi daya yang terjadi akan semakin besar pula hal tersebut terlihat dari perbandingan skenario tanpa sisip, skenario 1, skenario 2 dan skenario 3. Dan semakin besar kapasitas gardu distribusi sisipan maka rugi daya yang terjadi akan semakin besar pula hal tersebut terlihat dari perbandingan skenario 1 dan skenario 4. Besarnya rugi daya yang terjadi pada suatu penyulang dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada penyulang tersebut dan beban yang terdapat pada gardu distribusi. Dimana semakin besar beban pada gardu distribusi maka arus yang mengalir pada gardu tersebut juga akan semakin besar. Apabila arus yang mengalir pada penyulang semakin besar maka rugi daya aktif yang terjadi juga akan semakin besar. Berdasarkan gambar 4.59, diketahui bahwa skenario penambahan gardu distribusi sisipan yang paling efektif ialah dengan melakukan penambahan bus baru pada penyulang, hal tersebut ditunjukkan pada hasil skenario 5 yang memiliki nilai rugi daya aktif paling kecil dibandingkan dengan skenario lainnya, meskipun skenario ini cukup memakan banyak biaya untuk pemasangan gardu distribusi sisipan.

4.2 Penyulang Durian 3

Pada penelitian ini dilakukan 5 skenario penambahan gardu distribusi sisipan pada bus-bus yang mengalami *overload*. Pada skenario pertama dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4 dengan kapasitas gardu sebesar 85 kW dan 52.67 kVAR. Pada skenario kedua dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4 dan bus 13, dimana pada bus 13 dengan kapasitas gardu sebesar 85 kW dan 52.67 kVAR. Pada skenario ketiga dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4,13 dan 53, dimana pada bus 53 kapasitas gardu sebesar 57.07 kW dan 35.36 kVAR. Pada skenario keempat dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4 dengan kapasitas gardu yang lebih besar dibandingkan dengan skenario pertama yaitu sebesar 127.5 kW dan 79.01 kVAR. Pada skenario kelima dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus baru yaitu bus 60 yang berada di dekat bus 55 dengan jarak sejauh 1.7 km dengan kapasitas sebesar 85 kW dan 52.66 kVAR. Adapun perbandingan profil tegangan pada setiap skenario berdasarkan hasil simulasi aliran daya ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 4 Perbandingan Profil Tegangan Penyulang Durian 3

Bus	Tanpa Sisip	Skenario				
		1	2	3	4	5
1	20	20	20	20	20	20
2	19.96	19.958	19.958	19.958	19.958	19.958
3	19.906	19.904	19.902	19.9	19.902	19.902
4	19.862	19.86	19.858	19.856	19.858	19.858
5	19.81	19.808	19.804	19.8	19.806	19.806
6	19.746	19.744	19.74	19.734	19.742	19.742
7	19.736	19.732	19.726	19.72	19.73	19.73
8	19.722	19.72	19.708	19.704	19.718	19.718
9	19.712	19.71	19.696	19.69	19.708	19.708
10	19.704	19.702	19.684	19.68	19.7	19.7
11	19.696	19.694	19.674	19.668	19.692	19.692
12	19.688	19.686	19.662	19.656	19.684	19.684
13	19.684	19.682	19.652	19.648	19.678	19.678
14	19.682	19.68	19.652	19.646	19.676	19.676
15	19.672	19.67	19.664	19.658	19.666	19.666
16	19.614	19.612	19.608	19.6	19.61	19.61
17	19.58	19.578	19.574	19.564	19.576	19.576
18	19.528	19.526	19.522	19.512	19.524	19.524
19	19.528	19.526	19.52	19.51	19.522	19.522
20	19.482	19.478	19.474	19.464	19.476	19.476
21	19.442	19.44	19.436	19.424	19.438	19.438
22	19.394	19.39	19.386	19.374	19.388	19.388
23	19.34	19.338	19.334	19.318	19.336	19.336
24	19.28	19.278	19.274	19.258	19.276	19.276
25	19.254	19.25	19.246	19.23	19.248	19.248
26	19.22	19.216	19.212	19.194	19.214	19.214
27	19.214	19.212	19.206	19.19	19.208	19.208

Lanjutan Tabel 4

Bus	Tanpa Sisip	Skenario				
		1	2	3	4	5
28	19.208	19.206	19.2	19.184	19.202	19.202
29	19.202	19.2	19.196	19.178	19.198	19.198
30	19.2	19.198	19.194	19.176	19.196	19.196
31	19.2	19.198	19.194	19.176	19.196	19.196
32	19.2	19.196	19.192	19.174	19.194	19.194
33	19.194	19.192	19.188	19.17	19.19	19.19
34	19.184	19.182	19.178	19.16	19.18	19.18
35	19.178	19.176	19.172	19.154	19.174	19.174
36	19.174	19.172	19.168	19.15	19.17	19.17
37	19.172	19.17	19.166	19.148	19.168	19.168
38	19.116	19.114	19.108	19.088	19.112	19.112
39	19.104	19.102	19.098	19.076	19.1	19.1
40	19.098	19.094	19.09	19.07	19.092	19.092
41	19.092	19.09	19.086	19.066	19.088	19.088
42	19.09	19.088	19.084	19.064	19.086	19.086
43	19.052	19.05	19.044	19.022	19.048	19.048
44	19.026	19.024	19.02	18.996	19.022	19.022
45	18.992	18.99	18.986	18.962	18.988	18.988
46	18.956	18.954	18.948	18.924	18.952	18.952
47	18.902	18.9	18.894	18.868	18.896	18.896
48	18.826	18.824	18.82	18.79	18.822	18.822
49	18.77	18.768	18.764	18.732	18.766	18.766
50	18.77	18.768	18.764	18.732	18.766	18.766
51	18.712	18.71	18.706	18.67	18.708	18.708
52	18.708	18.704	18.7	18.666	18.702	18.702
53	18.656	18.654	18.648	18.612	18.65	18.65
54	18.604	18.602	18.598	18.56	18.6	18.6
55	18.564	18.562	18.558	18.52	18.56	18.56
56	18.604	18.602	18.598	18.56	18.6	18.6
57	18.602	18.6	18.596	18.558	18.598	18.598
58	18.6	18.598	18.592	18.556	18.594	18.594
59	18.598	18.596	18.59	18.554	18.592	18.592

Sumber : Hasil Data Olahan

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa nilai tegangan terima pada setiap skenario memiliki nilai yang berbeda-beda. Dimana nilai tegangan bus pada saat belum dilakukannya penyisipan gardu distribusi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan skenario setelah pemasangan gardu distribusi sisipan yang terdapat pada skenario 1,2,3 dan 4. Sedangkan nilai tegangan bus pada skenario 5 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan skenario tanpa pemasangan gardu distribusi sisipan dan skenario lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan memengaruhi besarnya tegangan terima yang akan diterima oleh pelanggan. Dimana dengan dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada beberapa gardu yang mengalami *overload*, hasil tegangan terima yang diperoleh akan semakin menurun. Diketahui nilai tegangan bus minimum pada Penyulang Durian 3 terletak

pada bus 55 yaitu yang berada pada ujung penyulang. Adapun besar tegangannya pada saat sebelum dilakukannya penyesuaian gardu distribusi ialah sebesar 18.564 kV. Besar tegangan bus 55 pada skenario pertama ialah sebesar 18.562 kV. Besar tegangan bus 55 pada skenario kedua ialah sebesar 18.558 kV. Besar tegangan bus 55 pada skenario ketiga ialah sebesar 18.52 kV. Besar tegangan bus 79 pada skenario keempat ialah sebesar 18.56 kV. Dan besar tegangan bus 79 pada skenario kedua ialah sebesar 18.482 kV. Berdasarkan hasil simulasi yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa semakin besar kapasitas gardu distribusi sisipan yang dipasang maka semakin rendah nilai tegangan terima pada penyulang, seperti yang terdapat pada hasil simulasi skenario 1 dan skenario 4. Adapun skenario pemasangan gardu distribusi sisipan yang paling efektif untuk diterapkan ialah skenario 1, dimana dilakukannya pemasangan gardu distribusi sisipan dengan kapasitas sebesar 85 kW dan 52.67 kVAR.

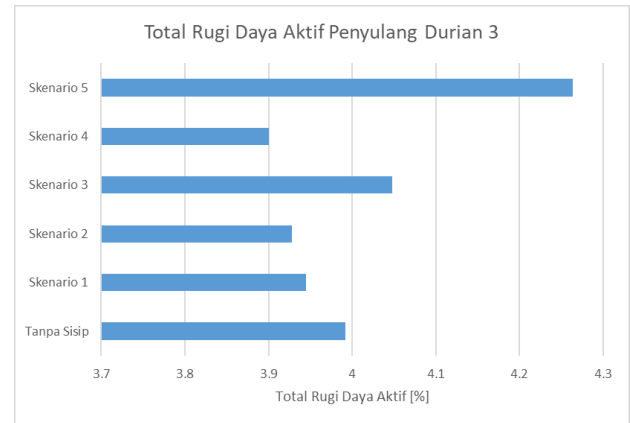
Berdasarkan hasil simulasi aliran daya pada Penyulang Durian 3, didapatlah aliran daya aktif dan aliran daya reaktif yang mengalir pada saluran. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diketahui semakin besar arus yang mengalir pada suatu gardu maka besarnya daya yang mengalir pada gardu tersebut akan semakin besar, Berikut merupakan rekapitulasi aliran daya pada Penyulang Durian 3 di setiap skenario:

Tabel 5 Rekapitulasi Aliran Daya Penyulang Durian 3

Skenario	Daya Dibangkitkan		Beban		Total Rugi Daya Aktif
	kW	kVAR	kW	kVAR	
Tanpa Sisip	2594.79	1677.33	2491.22	1544.54	103.57
Skenario 1	2637.78	1704.26	2533.72	1570.86	104.06
Skenario 2	2681.56	1731.88	2576.22	1597.18	105.34
Skenario 3	2729.19	1764.85	2618.72	1623.51	110.47
Skenario 4	2680.77	1731.23	2576.22	1597.2	104.55
Skenario 5	2690.97	1744.49	2576.22	1597.2	114.75

Sumber : Hasil Data Olahan

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa nilai rugi-rugi daya mengalami kenaikan setiap penambahan gardu distribusi sisipan baik daya yang dibangkitkan oleh gardu hubung (GH) maupun daya beban yang terdapat pada penyulang. Sedangkan nilai tegangan bus minimum pada setiap skenario mengalami penurunan. Berikut merupakan perbandingan presentase total rugi daya aktif Penyulang Durian 3 pada setiap skenario:



Gambar 6 Perbandingan Total Rugi Daya Aktif Penyulang Durian 3

Berdasarkan gambar 6 diketahui total rugi daya aktif pada Penyulang Durian 3 mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya gardu distribusi yang disisip pada Penyulang Durian 3. Dimana pada saat belum ditambahkannya gardu distribusi sisipan total rugi daya aktif yang terjadi pada Penyulang Durian 3 ialah sebesar 3.992%. Pada skenario pertama dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.945%. Pada skenario kedua dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4 dan bus 13 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.928%. Pada skenario ketiga dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 4, bus 13 dan bus 53 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 4.048%. Pada skenario keempat dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus 18 dengan kapasitas gardu yang lebih besar daripada skenario pertama total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 3.900%. Dan pada skenario kelima dimana dilakukannya penambahan gardu distribusi sisipan pada bus baru yaitu bus 80 total rugi daya aktif yang terjadi ialah sebesar 4.264%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kapasitas gardu distribusi sisipan maka rugi daya yang terjadi akan semakin besar pula hal tersebut terlihat dari perbandingan skenario 1 dan skenario 4. Selain itu besarnya rugi daya aktif yang terjadi pada penyulang juga dipengaruhi oleh lokasi penempatan gardu distribusi sisipan. Apabila gardu distribusi sisipan ditempatkan pada bus dengan nilai jatuh tegangan yang besar maka rugi daya yang terjadi juga akan semakin besar. Besarnya rugi daya yang terjadi pada suatu penyulang dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada penyulang tersebut dan beban yang terdapat pada gardu distribusi. Dimana semakin besar beban pada gardu distribusi maka arus yang mengalir pada gardu tersebut juga akan semakin besar. Apabila arus yang mengalir pada penyulang semakin besar maka rugi daya aktif yang terjadi juga akan semakin besar. Hal tersebut terlihat pada skenario 5 dimana dilakukan penambahan gardu distribusi sisipan pada bus dengan nilai jatuh tegangan tertinggi dibanding bus lain, maka rugi daya aktif yang terjadi pada bus tersebut semakin besar. Berdasarkan gambar 4.59, diketahui bahwa skenario penambahan gardu distribusi sisipan yang paling efektif ialah dengan melakukan penambahan gardu distribusi pada bus 4 dengan kapasitas

sebesar 85 kW dan 52.67 kVAR, hal tersebut ditunjukkan pada hasil skenario 1 yang memiliki nilai rugi daya aktif paling kecil dibandingkan dengan skenario lainnya.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi aliran daya dengan menggunakan metode pendekatan langsung yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemasangan gardu distribusi sisipan pada jaringan tegangan menengah bertujuan untuk mengatasi permasalahan pembebanan berlebih atau *overload* pada transformator memiliki dampak yang kurang baik terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang. Dengan dilakukannya pemasangan gardu distribusi sisipan pada suatu penyulang nilai jatuh tegangan yang terjadi akan semakin besar hal tersebut dikarenakan penambahan gardu distribusi sisipan mengakibatkan penambahan beban pada bus, semakin besar beban yang terdapat pada suatu bus, maka arus yang mengalir pada bus tersebut akan semakin besar. Semakin besar arus yang mengalir pada suatu bus, maka nilai tegangan pada sisi terima akan semakin kecil. Apabila nilai tegangan pada sisi terima semakin kecil, maka nilai jatuh tegangan yang merupakan selisih antara tegangan sisi kirim dan tegangan sisi terima akan semakin besar. Berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan diketahui pada penyulang raya 15 dan penyulang durian 3 masih terdapat 48 bus dan 14 bus dengan nilai jatuh tegangan yang melebihi SPLN No.72 tahun 1987. Adapun rugi daya aktif yang terjadi pada Penyulang Raya 15 dan Penyulang Durian 3 setelah dilakukannya pemasangan gardu distribusi sisipan juga mengalami peningkatan. Semakin banyak dan semakin besar gardu distribusi sisipan yang dipasang pada suatu penyulang maka rugi daya yang terjadi juga akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badruddin, Modul II Sistem Distribusi, 2013.
- [2] Lisma, Yusro Hakim, "Perencanaan Gardu Sisip P117 di PT.PLN (PERSERO) Area Bangka", 2013.
- [3] Fadli, Najmul M, I Made Ginarsa, "Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Pada Saluran Transformator Distribusi Penyulang Pagutan", vol. 7, no. Transformator Distribusi AM097, 2020.
- [4] Harahap Partaonan, Adam Muhammad, Prabowo Agus, "Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa", 2019
- [5] Sirait, B. 2012. Diktat Kuliah Sistem Distribusi. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [6] SPLN 50 : 1997 Spesifikasi Transformator Distribusi
- [7] SPLN No. 72. 1987. *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.

- [8] Sirait, B. 2017. Diktat Kuliah Analisa Sistem Tenaga. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
- [9] Gonen, Turan. 1988. *Modern Power System Analysis*. Canada : Jhon Wiley and Sons
- [10] Thakur, T. and Dhiman Jaswanti, 2006. *A New Approach to Load Flow Solutions for Radial Distribution System*. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America. Venezuela
- [11] Teng, Jen-Hao. 2003. *A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions*. IEEE Trans. Power Del, Vol.8, no.3, pp. 882-887. July, 2003.
- [12] Venkatest. B, Rakesh Ranjan, H.B Gooi, 2004. *Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Systems To Maximize Loadability*. IEEE Transactions On Power Systems Vol. 19 no.1 , February, 2004.
- [13] Dukkupati, Rao V. 2010. *Matlab An Introduction with Applications*. New Delhi : New Age International Publishers.
- [14] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. New York : McGraw-Hill Book Company

BIOGRAFI



Andini Nada Nisrinaa, lahir di Pontianak, 16 Januari 2000. Menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Muhammadiyah 2 Pontianak lulus tahun 2011, melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 3 Pontianak lulus tahun 2014 lalu melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Pontianak hingga memperoleh gelar sarjana S-1 dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2021.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124

Telepon (0561) 740186 Email: ft@untan.ac.id Website: <http://teknik.untan.ac.id>

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN JURNAL SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada penulisan Jurnal Skripsi yang berjudul **“STUDI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA AKIBAT PEMASANGAN GARDU DISTRIBUSI SISIPAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV”** yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Nama : Andini Nada Nisrina
NIM : D1021171043
Jurusan : Teknik Elektro
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Tenaga Listrik

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan jurnal skripsinya.

Pontianak, Agustus 2021

Pembimbing Utama,

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

Pembimbing Pendamping,

Ir. Bonar Sirait, M.Sc, IPM
NIP. 195608131983021001