

Analisis Jatuh Tegangan Pada Penyulang 20 kV Berdasarkan pada Perubahan Beban (*Studi Kasus Penyulang Penfui dan Penyulang Oebobo PT. PLN Persero Rayon Kupang*)

Agusthinus S. Sampeallo, Wellem F. Galla, Rendi A. Oematan,

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi-Sucipto, Penfui, Kupang, Indonesia. 85000

E-mail: agustinus_sampeallo@yahoo.com

Abstrak

Tegangan yang stabil pada penyulang bergantung pada impedansi saluran dan pola beban. Kedua parameter utama inilah yang menyebabkan jatuh tegangan pada saluran, dimana semakin besar nilai impedansi saluran serta beban yang semakin besar, maka semakin besar pula jatuh tegangan yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji pengaruh perubahan beban terhadap besarnya jatuh tegangan yang terjadi di saluran distribusi primer. Studi kasus dilakukan pada kedua penyulang, yakni penyulang Penfui dan penyulang Oebufu di PT. PLN (Persero) Rayon Kupang. Hasil penelitian diperoleh jatuh tegangan akibat impedansi pada penyulang Penfui sebesar 2,9531% dan penyulang Oebufu 4,9632 %. Sedangkan pada saat dibebani secara maksimum jatuh tegangan pada penyulang Penfui sebesar 2,5447% dan penyulang Oebufu sebesar 4,1068%. Jika dianalisis pada saat pembebanan perfasa dari hasil pengukuran di sisi sekunder, maka jatuh tegangan yang diperoleh adalah perfasa pada penyulang Penfui, fasa R sebesar 3,1161%, fasa S sebesar 3,0616% dan fasa T sebesar 3,0597 %. Dan jatuh tegangan pada penyulang Oebufu di fasa R sebesar 4,776%, fasa S sebesar 4,1816% dan fasa T sebesar 4,1737%.

Abstract

Steady voltage on the feeder depends on the line impedance and load pattern. The second major parameter that causes the voltage drop to the line, where the greater the value of line impedance and load the greater the voltage drop occurs. The purpose of this study was to examine the influence of load changes on the magnitude of the voltage drop occurs in the primary line distribution. Case studies conducted on two feeders that Penfui and Oebufu feeders at PT. PLN (Persero) Kupang. The obtained than due to the voltage drop on Penfui feeders results impedance, of the 2.9531% and at Oebufu feeders of the 4.9632%. Meanwhile, when loaded to the maximum voltage drop at Penfui feeders in the amount of 2.5447% and Oebufu feeders in the amount of 4.1068%. When analyzed at the time of loading per-phase the voltage drop obtained is on Penfui feeders, phase R of the 3.1161%, phase S of the 3.0616% and phase T of the 3.0597%. And than value drop voltage to Oebufu feeders, phase R of the 4.776%, phase S of the 4.18 16 % and for phase T of the 4.1737 %.

Keywords: Voltage Drop, Feeders, Load Changes

1. Latar Belakang

Distribusi energi listrik merupakan salah satu bagian dalam sistem penyaluran energi listrik. Proses penyaluran energi listrik melalui beberapa tahapan, yakni dimulai dengan pembangkitan. Tegangan hasil pembangkitan akan dinaikkan dengan menggunakan transformator *step up*, kemudian akan ditransmisikan dengan jarak dan level tegangan tertentu menuju pusat-pusat beban. Saat sampai pada pusat beban, tegangan akan diturunkan dengan menggunakan transformator *step down* menjadi tegangan menengah dengan besar tegangan adalah 20 kV, bagian inilah yang disebut sistem distribusi primer. Setelah itu tegangan akan diturunkan lagi menjadi tegangan rendah 380/220 V yang dikenal dengan sistem distribusi sekunder [1].

Tegangan yang stabil merupakan salah satu tujuan utama dalam proses pendistribusian energi listrik agar mutu pelayanan konsumen dapat berlangsung dengan baik. Namun kondisi ideal yang diinginkan tersebut tidak dapat berlangsung, karena berbagai kondisi yang mempengaruhi kualitas tegangan pada saat pengiriman berlangsung. Pengaruh terhadap kualitas tegangan inilah yang menyebabkan jatuh tegangan. Jatuh tegangan dapat disebabkan jarak penempatan transformator dengan beban, saluran, sampai pada kondisi beban yang tidak stabil. Untuk mengatasi fluktuasi tegangan berupa kenaikan tegangan dan jatuh tegangan pada jaringan, maka dapat diatasi dengan pemasangan kapasitor sampai pada mengatur tegangan kirim transformator *step up*, sehingga memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh PLN yang dicantumkan pada SPLN 1987, yakni fluktuasi tegangan sebesar +5% dan -10% pada saluran distribusi 20 kV [2].

Oleh karena itu, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga pada titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan yang berbeda-beda [3]. Di dalam saluran distribusi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran [3]. Pada jaringan distribusi, frekuensi gangguan lebih sering terjadi baik dari dalam maupun dari luar sistem. Untuk melokalisasi gangguan, maka jaringan distribusi biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *reclozer*, atau alat pemutus beban lainnya yang berfungsi untuk membatasi daerah yang mengakami pemadaman [4].

Di dalam saluran distribusi persoalan tegangan sangat penting baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran [5]. Saluran yang digunakan memiliki besaran resistansi dan impedansi yang mempengaruhi aliran arus listrik. Impedansi saluran ini memiliki nilai yang diperlukan untuk perhitungan jatuh tegangan, aliran daya, hubung singkat, serta rugi-rugi

saluran [6]. Pola pemakaian beban yang berubah-ubah setiap saat mengakibatkan arus beban pada masing-masing fasa juga selalu berubah-ubah, kondisi tidak stabil inilah yang juga dapat diidentifikasi sebagai salah satu penyebab jatuh tegangan. Terjadinya peningkatan nilai arus beban disisi sekunder atau pemakaian energi listrik mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan yang semakin besar pula [7].

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah survey lapangan, wawancara dan studi literatur. Data-data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Rayon Kupang dihitung dan di analisis menggunakan formula sebagai berikut :

a. Menghitung Impedansi Jaringan

- Menghitung besar impedansi jaringan (Z) menggunakan persamaan $Z = (R + jX) L$.
- Menghitung nilai sudut (θ) maksimum θ menggunakan persamaan:

$$\theta_{maks} = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

b. Menghitung Arus Beban Penuh Pada Transformator

- Ditinjau dari sisi primer menggunakan persamaan: $S = \sqrt{3} V I$.
- Menghitung arus beban penuh dengan menggunakan persamaan :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

- Menghitung arus primer pada transformator

$$IP = \frac{VP}{\alpha}$$

c. Menghitung Besar Arus Di Jaringan

- Menggunakan hukum Kirchoff yang mengatur tentang arus.

d. Menghitung Jatuh Tegangan

- Menghitung jatuh tegangan pada jaringan distribusi primer dengan menggunakan persamaan $(\Delta V) = I Z$.
- Menentukan besar persentase jatuh tegangan dengan menggunakan persamaan:

$$\%V = \frac{VS-VR}{VR} \times 100\%$$

e. Meregulasi Tegangan

Regulasi tegangan dengan menggunakan persamaan (VReg)

$$V_{Reg} = \frac{VS-VR}{VR} \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

PT PLN (Persero) Rayon Kupang memiliki 17 penyulang dengan pembagian dua penyulang *express*, enam penyulang melayani area Kota Kupang dan sisanya melayani area di luar kota Kupang (Kabupaten Kupang). Ke-17 penyulang tersebut disuplai dari PLTD Tenau dan PLTD Kuanino. Pada dasarnya model konfigurasi jaringan di setiap penyulang yang ada di sistem Kota Kupang mempunyai tipe radial. Akan tetapi, sulit untuk mengidentifikasinya secara pasti karena setiap penyulang terhubung dengan penyulang lain seolah membentuk konfigurasi jaringan *loop*. Tujuannya untuk menjaga suplai listrik pada daerah-daerah tertentu agar pada saat terjadi gangguan secara lokal, maka dapat dialihkan suplai listrik dari penyulang yang lain. Analisis jatuh tegangan yang dilakukan pada penyulang Penfui dan penyulang Oebufu, berdasarkan impedansi sepanjang saluran, besar arus beban penyulang, kapasitas transformator dan perubahan beban yang diidentifikasi lewat arus hasil pengukuran pada gardu.

3.1.1 Gambaran Umum Penyulang Penfui

Penyulang Penfui disuplai dari PLTD Kuanino dengan bentuk konfigurasi jaringan radial, menyuplai beban sepanjang saluran dan titik pangkal saluran utama berakhir di GH (Gardu Hubung) Penfui. Arus beban puncak penyulang tertinggi tercatat pada tanggal 11 Maret 2013 sebesar 173 A, frekuensi 50 Hz, tegangan 20 kV dan faktor daya pembangkitan adalah sebesar 0.85. Total panjang keseluruhan penghantar adalah 21,526 kms, dengan jenis kawat penghantar yang digunakan adalah *Cross-Linked Polyethylene* (XLPE) dengan diameter kawat 3 X 240 mm² dan 3 X 150 mm². Untuk saluran udara menggunakan jenis penghantar *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC) dengan diameter kawat 3 X 35 mm², 3 X 50 mm², 3 X 70 mm² dan 3 X 150 mm², mensuplai 64 buah gardu dengan kapasitas yang berbeda tersebar sepanjang saluran.

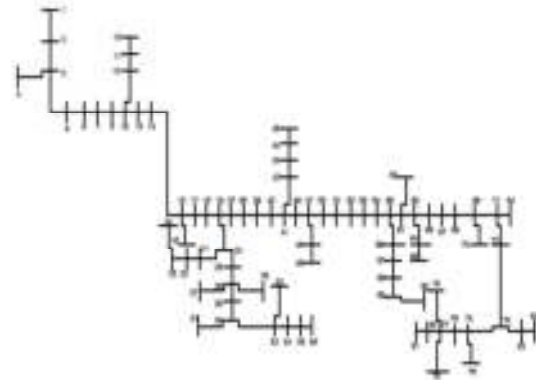
3.1.2 Gambaran Umum Penyulang Oebufu

Penyulang Oebufu merupakan penyulang yang disuplai dari PLTD Tenau dengan model jaringan radial, namun terhubung dengan penyulang Baun seolah-olah membentuk konfigurasi jaringan *loop*. Arus beban puncak penyulang tertinggi tercatat sebesar 220 A pada tanggal 13 Maret 2013, frekuensi 50 Hz, tegangan 20 kV dan faktor daya pembangkitan sebesar 0,85. Total panjang keseluruhan penghantar adalah 38,156 kms, dengan jenis kawat penghantar yang digunakan adalah *Cross-Linked Polyethylene* (XLPE) dengan diameter kawat 3 X 240 mm². Untuk saluran udara menggunakan *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC) dengan diameter kawat 3 X 35 mm², 3 X 50 mm², 3 X 70 mm² dan 3 X 150 mm² jenis *All*

Aluminium Alloy Conductor (AAAC), mensuplai 57 buah gardu dengan kapasitas yang berbeda tersebar sepanjang saluran.

3.1.3 Menghitung Jatuh Tegangan Akibat Pengaruh Impedansi Saluran pada Penyulang Penfui

Berdasarkan penamaan *bus* pada penyulang Penfui, maka penyulang ini terdiri atas 84 *bus* seperti *Single line diagram* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Single Line Diagram* Penyulang Penfui

Resistansi dan Reaktansi Saluran

Dari bus 1 ke bus 2, menggunakan dua jenis penghantar yang berbeda, yakni XLPE 240 mm² dan AAAC 50 mm², yaitu:

- Jenis penghantar XLPE 240 mm² dengan jarak 0,100 km, maka besar nilai impedansinya dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z &= (R + jX) L \text{ Ohm/km} \\ &= (0,15088 + j0,0847) 0,100 \text{ km} \\ Z_a &= 0,0151 + j0,0085 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Z_a merupakan nilai impedansi saluran untuk jenis penghantar XLPE 240 mm².

- Jenis penghantar AAAC 50 mm² dengan jarak 0,422 km, maka besar nilai impedansinya dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z &= (R + jX) L \text{ Ohm/km} \\ &= (0,6452 + j0,3678) 0,422 \text{ km} \\ Z_b &= 0,2722 + j0,1552 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Z_b merupakan nilai impedansi saluran untuk jenis penghantar XLPE 240 mm².

Jadi total impedansi pada penyulang Penfui dari bus 1 ke bus 2 adalah:

$$\begin{aligned} Z_{Tot} &= Z_a + Z_b \\ &= (0,0151 + j0,0085) + (0,2723 + j0,1552) \end{aligned}$$

$$Z_{Tot} = 0,2877 + j0,1637 \text{ Ohm}$$

Penyederhanaan Bentuk Jaringan Penyulang Oebufu

Bentuk jaringan pada penyulang Oebufu yang memiliki banyak percabangan, sehingga perlu dilakukan penyederhanaan pada jaringan agar menjadi bentuk jaringan lurus tanpa percabangan. Tujuan dari penyederhanaan jaringan ini untuk memudahkan dalam menentukan besar arus yang mengalir pada saluran. Penyederhanaan yang dimaksud adalah dengan cara memasang seri atau paralel saluran percabangan.



Gambar 2. Hasil Penyederhanaan Penyulang Penfui

Hasil penyederhanaan saluran nilainya dalam bentuk impedansi saluran. Menghitung jatuh tegangan, perlu ditentukan bus yang menjadi referensi. Misalnya menghitung jatuh tegangan dari bus 1 sampai bus 14, besar nilai impedansi sepanjang saluran antar bus dapat langsung dihubung seri untuk memudahkan perhitungan besar jatuh tegangannya. Penentuan bus sebagai referensi tujuannya untuk mengetahui besar jatuh tegangan antar bus diwakili nilai impedansi sepanjang saluran yang telah disederhanakan.

Jatuh Tegangan

Tabel 1. Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan

No	Bus	Ke Bus	Total Impedansi (Ohm)		θ	Arus Saluran	Jatuh Teg.
			R	X			
1	1	14	1,219	0,976	0,578	173	212,27
2	14	Z2	0,548	0,587	0,81	173	96,382
3	Z2	Z2	0,874	0,669	0,65	173	152,59
4	Z2	84	0,711	0,100	0,13	173	123,053

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh hasil perhitungan Jatuh Tegangan Penyulang Penfui, yang dapat ditentukan nilai jatuh tegangan dalam bentuk persentase seperti pada Tabel 2.

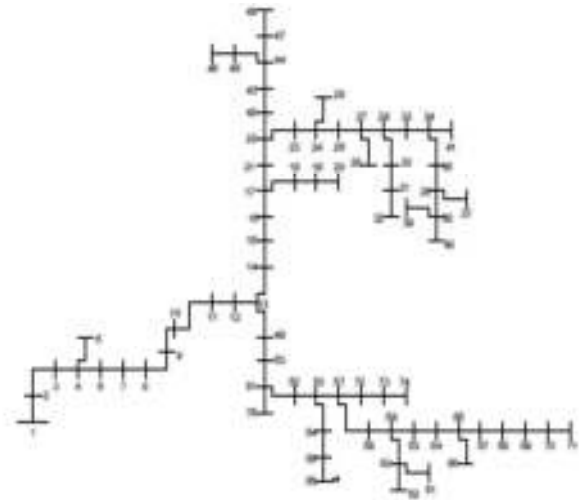
Tabel 2 Persentase Jatuh Tegangan

No	Tegangan Kirim	Tegangan Terima	Persentase Jatuh Tegangan	Akumulasi Persentase
	V	V	%	%
1	20000	19787.7	1.061352	1.061352
2	19787.7297	19691.3	0.487077	1.548429
3	19691.3481	19538.8	0.774939	2.323368
4	19538.7522	19415.7	0.629788	2.953156

Tabel 2 menunjukkan persentase jatuh tegangan penyulang Penfui, dan diperoleh jatuh tegangan terbesar terdapat pada bus 1 ke bus 14 sebesar 1,0613% dan terkecil terdapat dibus 14 ke bus Z20 sebesar 0,4871%. Total persentase jatuh tegangan dari bus 1 sampai bus 84 sebesar 2,9531%.

3.1.4 Menghitung Jatuh Tegangan Akibat Pengaruh Impedansi Saluran pada Penyulang Oebufu

Untuk mengetahui jatuh tegangan di penyulang Oebufu, maka berdasarkan penamaan bus pada penyulang Oebufu penyulang ini terdiri atas 75 bus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Single Line Diagram Penyulang Oebufu

Resistansi dan Reaktansi Saluran

Total impedansi pada penyulang Oebufu dari bus 1 ke bus 2 adalah:

$$Z_{Tot} = Z_a + Z_b = (0,5749 + j0,3227) + (0,0923 + j0,1411)$$

$$Z_{Tot} = 0,6672 + j0,4638 \text{ Ohm}$$

Penyederhanaan Bentuk Jaringan Penyulang Oebufu

Bentuk jaringan pada penyulang Oebufu memiliki banyak percabangan, sehingga perlu dilakukan penyederhanaan pada jaringan tersebut agar menjadi bentuk jaringan lurus tanpa percabangan. Dengan cara yang sama seperti pada penyulang Penfui, maka diperoleh penyederhanaan rangkaian seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Penyederhanaan Saluran Oebufu

Hasil penyederhanaan saluran nilainya dalam bentuk impedansi saluran. Dengan demikian untuk menghitung jatuh tegangan, perlu ditentukan bus yang menjadi referensi. Misalnya menghitung jatuh tegangan dari bus 1 sampai bus 2.

Jatuh Tegangan

Tabel 3 Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan

No	Bus	Ke Bus	Total Impedansi (Ohm)		θ	Arus Saluran	Jatuh Teg.
			R	X			
1	1	2	0,667	0,463	0,607	220	147,85
2	2	8	0,457	0,627	0,945	220	102,849
3	8	Z3 5	2,564	1,154	0,423	220	566,03
4	Z3 5	84	0,756	0,021	0,028	220	166,374

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh hasil perhitungan jatuh tegangan penyulang Penfui, dan kemudian dapat ditentukan nilai jatuh tegangan dalam bentuk persentase.

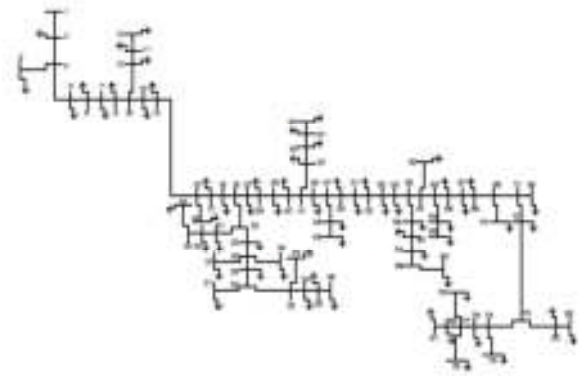
Tabel 4 Persentase Jatuh Tegangan

No	Tegangan Kirim	Tegangan Terima	Persentase Jatuh Tegangan	Akumulasi Persentase
	V	V	%	%
1	20000	19852.1	0.7392557	0.739256
2	19852.1	19749.3	0.5180785	1.257334
3	19749.3	19183.3	2.8661129	4.123447
4	19183.3	19016.9	0.8672912	4.990738

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan persentase jatuh tegangan penyulang Oebufu. Jatuh tegangan terbesar terdapat pada bus 8 ke bus Z35 sebesar 2,8661% dan terkecil terdapat pada bus 2 ke bus 8 sebesar 0,5181%. Total persentase jatuh tegangan dari bus 1 sampai bus 48 sebesar 4,9907%.

3.1.5 Menghitung Jatuh Tegangan Akibat Pembebanan Maksimum pada Penyulang Penfui

Penyulang Penfui terdapat 84 bus dengan total transformator yang terpasang sebanyak 64 buah. Single Line Diagram Beban Penyulang Penfui seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Single Line Diagram Beban Penyulang Penfui

Arus Maksimum Transformator Distribusi

Dari bus 71 ke bus 84 terdapat transformator distribusi di bus 84 dengan kapasitas 100 kVA, jadi besar arus maksimumnya dapat ditentukan sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 2,8868 \text{ A}$$

Besar arus pangkal adalah akumulasi secara keseluruhan dari arus yang ada di percabangan maupun saluran utama penyulang. Jadi untuk menentukan besar arus saluran dari bus 71 ke 84 dipakai arus maksimum transformator di bus 84 sebesar 2,8868 A.

Jatuh Tegangan

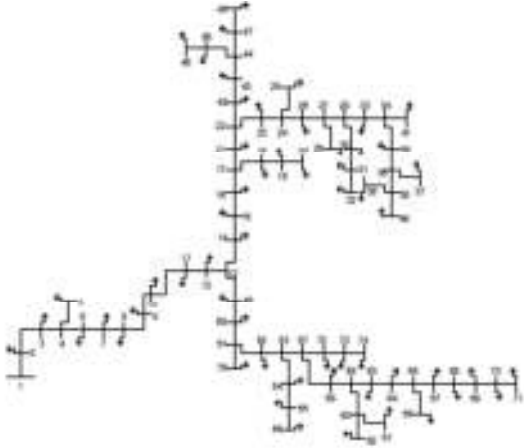
Jatuh tegangan dari bus 71 ke bus 84 dapat dihitung berdasarkan besar arus saluran 2,8868 A, impedansi saluran sebesar 0,0655 + j0,1001 Ohm dan nilai sudut (θ) maksimumnya 0,9915. Dengan memasukkan besaran nilai tersebut, maka diperoleh besar nilai jatuh tegangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (\Delta V) &= I Z \\ &= I (R \cos \theta + X \sin \theta) \\ &= 2,8868 (0,0655 \cos (0,9915) + 0,1001 \sin (0,9915)) \\ &= 2,8868 (0,0655 (0,9998) + 0,1001 (0,0173)) \\ (\Delta V) &= 0,1940 \text{ V} \end{aligned}$$

Jatuh tegangan pada saluran untuk pembebanan maksimum pada transformator di bus 71 ke bus 84 sebesar 0,1940 V. Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh persentase jatuh tegangan untuk pembebanan maksimum penyulang Penfui. Adapun jatuh tegangan terbesar terdapat pada bus 3 ke bus 5 sebesar 0,3261 %, dan jatuh tegangan dengan nilai terkecil terdapat pada bus 32 ke bus 34 sebesar 0,00039%. Total jatuh tegangan pembebanan maksimum pada penyulang Penfui yang diakumulasi dari bus 1 ke bus 84 sebesar 2,5447 %.

3.1.6 Menghitung Jatuh Tegangan Akibat Pembebanan Maksimum pada Penyulang Oebufu

Penyulang Oebufu terdapat 75 bus dengan total transformator yang terpasang sebanyak 57 buah. *Single line diagram* beban penyulang Oebufu ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Single Line Diagram Beban Penyulang Oebufu

Arus Maksimum Transformator Distribusi

Dari bus 51 ke bus 75 terdapat transformator distribusi di bus 75 dengan kapasitas 100 kVA, jadi besar arus maksimumnya dapat ditentukan sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{s}{\sqrt{3}.V} = \frac{500000}{\sqrt{3}.20000} = 1,4434 A$$

Besar arus pangkal adalah akumulasi secara keseluruhan dari arus yang ada di percabangan maupun saluran utama penyulang. Jadi untuk menentukan besar arus saluran dari bus 51 ke 75 dipakai arus maksimum transformator di bus 75 sebesar 1,4434 A.

Jatuh Tegangan

Menghitung jatuh tegangan dari bus 51 ke bus 75 dengan besar arus saluran 1,4434 A, impedansi penghantarnya sebesar 0,0543 + j0,083 dan nilai sudut (θ) adalah 0,9915, maka nilai jatuh tegangannya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (\Delta V) &= I Z \\ &= I (R \cos \theta + X \sin \theta) \\ &= 1,4434 (0,0543 \cos (0,99102) + 0,083 \sin (0,99102)) \\ &= 1,4434 (0,0543 (0,9999) + 0,083 (0,0173)) \\ (\Delta V) &= 0,0804 V \end{aligned}$$

Jatuh tegangan pada saluran untuk pembebanan maksimum pada transformator di bus 51 ke bus 75 sebesar

0,0804 V. Dari hasil perhitungan persentase jatuh tegangan untuk pembebanan maksimum penyulang Penfui, maka diperoleh jatuh tegangan terbesar terdapat pada bus 8 ke bus 9 sebesar 1,6217% dan jatuh tegangan dengan nilai terkecil terdapat pada bus 24 ke bus 26 sebesar 0,00025%. Total jatuh tegangan untuk model pembebanan maksimum pada penyulang Oebufu dari bus 1 ke bus 75 adalah sebesar 4,1195%.

3.1.7 Jatuh Tegangan Akibat Pembebanan Perfasa

Dari hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada fasa R dihitung per segmen pada penyulang Penfui, maka diperoleh jatuh tegangan terbesar terdapat pada bus 3 ke bus 5 sebesar 0,3892%. Jatuh tegangan dengan nilai terkecil terdapat pada bus 15 ke bus 16 sebesar 0,00029%. Total jatuh tegangan di fasa R pada penyulang Penfui dari bus 1 ke bus 84 sebesar 3,1161%.

Selanjutnya, hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada fasa S dihitung per segmen pada penyulang Penfui, maka diperoleh jatuh tegangan terbesar terdapat pada bus 3 ke bus 5 sebesar 0,3892% dan jatuh tegangan dengan nilai terkecil terdapat pada bus 77 ke bus 78 sebesar 0,0002%. Total jatuh tegangan fasa S pada penyulang Penfui dari bus 1 ke bus 84 sebesar 3,0616%. Untuk hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada fasa T dihitung per segmen pada penyulang Penfui, maka diperoleh jatuh tegangan terbesar terjadi pada bus 3 ke bus 5 sebesar 0,3877% dan jatuh tegangan dengan nilai terkecil terdapat pada bus 15 ke bus 16 sebesar 0,0002%. Total jatuh tegangan fasa T pada penyulang Penfui dari bus 1 ke bus 84 adalah sebesar 3,0597%.

Pada hasil perhitungan persentase jatuh tegangan di penyulang Oebufu diperoleh jatuh tegangan terbesar pada bus 8 ke bus 9, yakni pada fasa R sebesar 1,9180%, fasa S sebesar 1,9180%, dan fasa T sebesar 1,7039%. Untuk jatuh tegangan dengan nilai terkecil terdapat pada bus 24 ke bus 26, yakni pada fasa R sebesar 0,00026%, fasa S sebesar 0,00026%, dan fasa T sebesar 0,0002%. Dengan demikian diperoleh total jatuh dari bus 1 ke bus 75 pada tegangan fasa R pada sebesar 4,7766 %, fasa S sebesar 4,1817 %, dan fasa T sebesar 4,1737 %.

3.1.8 Merubah Tegangan Kirim untuk Mendapatkan Tegangan Terima yang Sesuai

Jika mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh pihak PLN, yakni jatuh tegangan yang diijinkan hanya sebesar - 10%, maka jatuh tegangan yang yang diperoleh pada penyulang Penfui, masih berada dalam batas yang diijinkan. Dengan demikian, hasil perhitungan mengenai regulasi tegangan hanya sebatas menunjukkan besar nilai yang harus diregulasi. Artinya, bahwa perhitungan disesuaikan dengan nilai jatuh tegangan pada penyulang

Penfui dengan jatuh tegangan akibat impedansi saluran dan akibat pembebanan maksimum.

3.1.8 Merubah Tegangan Kirim Terhadap Jatuh Tegangan Akibat Impedansi Saluran dan Akibat Pembebanan Maksimum

Jatuh tegangan pada penyulang Penfui, mempunyai, nilai regulasi tegangan sebesar 2,9769% terhadap besar nilai jatuh tegangan akibat impedansi dan nilai regulasi tegangan sebesar 2,5221% terhadap jatuh tegangan pada saat transformator dibebani secara maksimum. Sedangkan nilai regulasi tegangan pada penyulang Oebufu sebesar 5,0911%, terhadap besar nilai jatuh tegangan akibat impedansi, dan nilai regulasi tegangan sebesar 4,1515% pada saat transformator dibebani maksimum.

3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

3.2.1 Jatuh Tegangan Akibat Impedansi Saluran

Hasil analisis secara keseluruhan menunjukkan jatuh tegangan pada penyulang Oebufu lebih besar dari penyulang Penfui. Kondisi ini disebabkan karena nilai impedansi dan arus saluran di penyulang Oebufu lebih besar dari penyulang Penfui. Total panjang saluran pada penyulang Oebufu dari bus 1 ke bus 48 sepanjang 38,156 kms dan penyulang Penfui dari bus 1 ke bus 84 sepanjang 21,526 kms. Hal ini membuktikan semakin panjang saluran distribusi, maka semakin besar pula nilai impedansi saluran tersebut yang berdampak pada besarnya nilai jatuh tegangan, yang terjadi pada penyulang tersebut.

3.2.2 Jatuh Tegangan Akibat Pembebanan Maksimum

Jika dilihat secara keseluruhan, maka jatuh tegangan akibat pembebanan maksimum pada penyulang Oebufu lebih besar dari penyulang Penfui. Hal ini mengindikasikan nilai impedansi saluran yang besar ditambah dengan arus saluran yang besar pula dapat mengakibatkan semakin besar pula nilai jatuh tegangannya.

3.2.3 Jatuh Tegangan Akibat Pembebanan Perfasa

Persentase jatuh tegangan pada penyulang Oebufu dan penyulang Penfui akibat pembebanan perfasa menunjukkan penyulang Oebufu jatuh tegangannya lebih besar disbanding dengan penyulang Penfui. Hal ini disebabkan arus beban dan nilai impedansi saluran pada penyulang Oebufu lebih besar dari penyulang Penfui. Kondisi jatuh tegangan pada suatu penyulang memang masih sangat dipengaruhi oleh nilai impedansi. Namun jika dilihat jatuh tegangan akibat pembebanan maksimum, maka selisih jatuh tegangan pada kedua penyulang tersebut hampir mencapai 2%, sedangkan pada saat pembebanan perfasa, maka selisih jatuh tegangan hanya $\pm 1\%$. Kondisi ini disebabkan pembebanan perfasa pada

penyulang Penfui jauh lebih besar dari penyulang Oebufu. Sedangkan kondisi pembebanan pada masing-masing penyulang mengacu pada besar jatuh tegangan yang diperoleh dapat dinyatakan pembebanan setiap fasa hampir merata.

3.2.4 Merubah Tegangan Kirim Untuk Jatuh Tegangan Akibat Impedansi dan Akibat Pembebanan Maksimum

Setelah dianalisis jatuh tegangan akibat impedansi pada penyulang Penfui dan penyulang Oebufu, maka diperoleh kondisi pada kedua penyulang tersebut masih berada dalam batasan yang diijinkan, yakni dibawah -10 % atau tidak kurang dari 18000 V. Persentase nilai regulasi tegangan yang diperoleh hanya berdasarkan besar persentase jatuh tegangan. Artinya, hanya menampilkan contoh perhitungan regulasi tegangan, dan kondisi jatuh ditemukan tegangan pada saat menganalisis penyulang lain yang terjadi melebihi standar yang telah ditetapkan. Kondisi untuk kedua penyulang tersebut tidak direkomendasi untuk dilakukan perubahan tegangan kirim atau regulasi tegangan karena masih berada dalam batasan yang diijinkan.

4. Kesimpulan

1. Pengaruh impedansi terhadap jatuh tegangan pada saat beban puncak di penyulang Penfui sebesar 2,9531% dan pada penyulang Oebufu sebesar 4,9632%.
2. Pengaruh pembebanan terhadap jatuh tegangan pada saat dibebani secara maksimum pada penyulang Penfui sebesar 2,5447% dan pada penyulang Oebufu sebesar 4,1068 %.
3. Pengaruh pembebanan terhadap jatuh tegangan pada saat dibebani perfasa atau pada saat terjadi perubahan beban pada penyulang Penfui dengan jatuh tegangan pada fasa R sebesar 3,1161%, fasa S sebesar 3,0616 % dan fasa T sebesar 3,0597 %, sedangkan pada penyulang Oebufu jatuh tegangan pada fasa R sebesar 4,7766%, fasa S sebesar 4,1817 % dan fasa T sebesar 4,1737%.
4. Jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang Penfui dan Penyulang Oebufu berdasarkan pada nilai impedansi saluran dan pembebanan, maka tidak perlu dilakukannya perubahan tegangan kirim atau regulasi tegangan. Regulasi tegangan di penyulang Penfui akibat impedansi sebesar 2,5447% dan pada penyulang Oebufu sebesar 5,1515%. Sedangkan akibat pembebanan maksimum pada penyulang Penfui sebesar 2,5447% dan penyulang Oebufu sebesar 5,1515%, merupakan contoh penentuan regulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pabla. 1994. *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [2] SPLN. 1997. *Tegangan-Tegangan Standar PT. PLN*

- (*Persero*). Departemen Pertambangan dan Energi, Perum Listrik Negara.
- [3] Fausan. 2012. *Perencanaan Pemasangan Saluran Udara 20 kV*. Jurnal Ilmiah, Teknik Elektro, Unand, Padang.
- [4] Marsudi, Djiteng. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai penerbit dan humas ISTN, Jakarta Selatan.
- [5] Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, USA. p.246. 1986.
- [6] Kadir, Abdul. 2000. *Sistem Distribusi*, PT. Alex Media Komputindo, Jakarta.
- [7] Sudaryatno, Sudirham. 1991. *Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran*. Tim Pelaksana Kerjasama PLN-ITB, Bandung. Hal 11.