

ANALISIS SISTEM KELISTRIKAN PADA PENYULANG MAKASSAR TOWN SQUARE (MTOS)

¹⁾Satriani Said, Sulhan Bone ²⁾Nurul Hudaya, Nur Kamri Hardi.

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *drop* tegangan yang timbul pada jaringan tegangan menengah dan mengetahui besar persentase ketidakseimbangan yang terjadi pada jaringan tegangan rendah penyulang MTOS. Sehingga hal ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk PT PLN (Persero) Rayon Makassar Timur dalam mengembangkan penyaluran energi listrik kedepannya.

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mengambil data dengan cara dokumentasi / *literature*, wawancara, dan peninjauan langsung (observasi). Setelah data – data terkumpul selanjutnya dilakukan analisis perhitungan *drop* tegangan dan perhitungan persentase ketidakseimbangan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan besar *drop* tegangan untuk penyulang MTOS sebesar 1.645 kV atau sama dengan 8.185 %. Sedangkan untuk sisi pengirim yang terbaca pada kubikel yaitu sebesar 20,1 Kv sehingga nilai pada ujung penerimanya sama dengan 18.455 kV dan arus beban puncak 130 A. *Drop* tegangan dapat ditangani dengan melakukan penggantian penghantar saluran dari AAAC 150 mm² menjadi AAAC 240 mm², sehingga impedansi saluran akan turun dan tegangan ujung akan naik

Untuk perhitungan ketidakseimbangan beban pada gardu GT I-MZ 27 didapatkan persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari sebesar 11,67% dan pada malam hari 9% hasil perhitungan yang didapatkan masih memenuhi standar PLN.

Kata kunci : *Drop* tegangan, Ketidakseimbangan beban, Sisi kirim, Sisi terima.

1. PENDAHULUAN

Pada suatu sistem penyaluran sistem tenaga listrik baik memakai sistem transmisi, sub transmisi maupun distribusi ada kemungkinan besar akan terjadi *drop* tegangan dan ketidakseimbangan beban khususnya untuk konsumen.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab

ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah.

Adapun dampak jika terjadi ketidakseimbangan beban dikonsumen yaitu biasanya sering terjadi *drop* tegangan yang mengakibatkan kualitas tegangan di rumah pelanggan menurun. *Drop* tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang dalam suatu penghantar yang dapat terjadi karena suatu penghantar mempunyai tahanan. Besar tahanan suatu penghantar sangat dipengaruhi oleh luas penampang penghantar tersebut. Oleh karena itu, penyaluran jarak jauh dan padatnya penduduk sangat memungkinkan terjadinya *drop* tegangan. Akibat dari *drop* tegangan, rugi-rugi daya akan semakin besar yang secara langsung sangat merugikan PT PLN (Persero) sebagai penyedia tenaga listrik di Indonesia. Jatuh tegangan tidak bisa dihilangkan, tetapi hanya bisa diminimalkan (direduksi).

Alasan mengapa penyulang MTOS menjadi tempat penelitian penulis karena menurut staf PLN yang diwawancarai pada penyulang MTOS terdapat *drop* tegangan karena adanya ketidakseimbangan beban pada trafo.

***Drop* Tegangan**

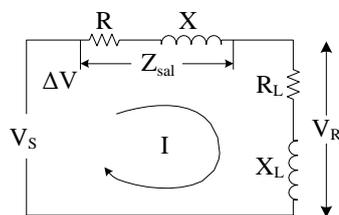
Panjang sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangkan *drop* tegangan (*Voltage Drop*).

Drop tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. *Drop* tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (*sending end*) dan tegangan pada sisi terima (*receiving end*).

Dengan semakin besar pula perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi kirim dengan yang ada pada sisi terima. Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran transmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar

(penampang penghantar) untuk diperhatikan. Berdasarkan standar SPLN1 :1978, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan, sebagian akibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum-10% dari tegangan nominalnya. Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Sebagai contoh dengan menanggapi rangkaian pada gambar 1 direpresentasikan sebagai saluran satu fasa, jika variabel dimensi yang digunakan; itu mewakili saluran tiga fasa seimbang jika variable per unit yang digunakan R+jX mewakili total impedansi dari saluran atau transformator.



Gambar 1. Rangkaian Ekvivalen Saluran Distribusi

Impedansi masing-masing bagian:

$$Z = R + jX/Km \dots \dots (1)$$

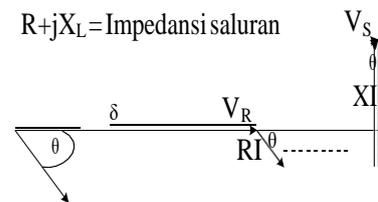
tegangan menengah harus

Dari rangkaian yang ditunjukkan dalam gambar 11 diperoleh:

$$I = V_S / (Z_{sal} + Z_L) \text{ atau } V_S = I \cdot Z_{sal} + I \cdot Z_L \quad (2)$$

$V_r = I \cdot Z_L$ adalah *drop* tegangan sepanjang Z_L atau tegangan beban, dan $I \cdot Z_{sal}$ adalah *drop* tegangan sepanjang Z_{sal} atau ΔV .

Penurunan persamaan *drop* tegangan dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram vektor pada tegangan saluran distribusi

Pada gambar diatas dapatdiperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasaridiagram vektor tersebut adalah:

$$V_S = V_R + I \cdot R \cos \theta + I \cdot X \sin \theta \dots \dots \dots (3)$$

Karena faktor $(I \cdot R \cos \theta + I \cdot X \sin \theta)$ pada gambar 12sama dengan $I \cdot Z$, makapersamaan menjadi:

$$V_S = V_R + I \cdot Z \text{ atau } V_S - V_R = I \cdot Z$$

Sehingga $\Delta V = I.Z$

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta) \dots\dots\dots(4)$$

Maka persamaandrop tegangan pada saluran distribusi primer untuk sistem tiga fasa adalah :

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \phi + X \sin \phi) \dots\dots\dots (5)$$

Besar *persentase drop* tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- V_S : Tegangan sumber (Volt)
- V_R : Tegangan pada sisi penerima (Volt)
- R : Resistansisaluran (Ω)
- X : Reaktansi saluran (Ω)
- Z_{sal} : Impedansi saluran (Ω)
- Z_L : Impedansi beban (Ω)
- R_L : Resistansi beban (Ω)
- X_L : Reaktansi beban (Ω)
- ΔV : *Drop* tegangan (Volt)

I : Arus beban (A)

$\cos \phi$: Faktor daya beban

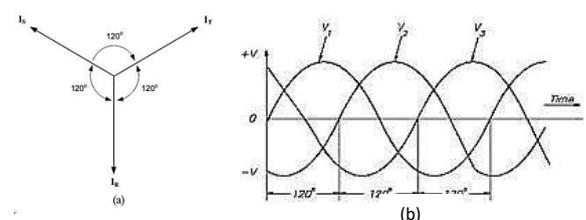
Dari persamaan terlihat bahwa nilai *drop* tegangan ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu daya aktif (P), resistansi dan reaktansi saluran (R dan X) serta daya

reaktif (Q). Pengaturan daya aktif erat kaitannya dengan pengaturan frekuensi sistem. Sedangkan pengaturan daya reaktif akan mempengaruhi nilai tegangan. Oleh karena itu dengan melakukan pengaturan nilai daya reaktif kita dapat mengatur nilai tegangan.

Ketidakseimbangan Beban

Pengertian tentang beban tidak seimbang, yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- a. Ketiga vektor arus / tegangan adalah sama besar
- b. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. (a) Vektor diagram arus keadaan seimbang. (b) Sinus arus keadaan seimbang

Gambar 3.(a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral

(I_N). Sedangkan pada gambar 13.(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

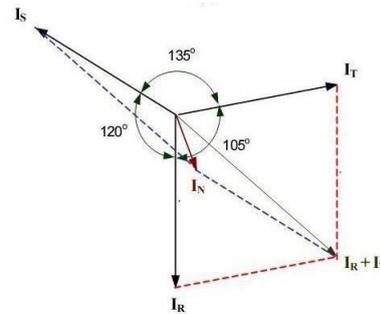
- a. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain
- b. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain
- c. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain

Seperti yang terlihat pada gambar 4 :

bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Menurut standar IEC ketidakseimbangan beban yang di

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :



Gambar4. Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Terlihat ijinkan adalah 5% dengan tingginya ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap besarnya arus netral, dimana arus netral yang besar mengakibatkan *losses* bertambah dan kualitas tenaga sehingga berpengaruh terhadap kualitas sistem penyaluran tenaga listrik.

1. Akibat Ketidakseimbangan Pembebanan Trafo Distribusi

Sebagai akibat dari pembebanan yang tidak seimbang pada trafo maka akan menimbulkan rugi-rugi (*losses*) energi diantaranya :

a. Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Netral

Rugi ini terjadi karena ada arus yang lumayan cukup besar mengalir penghantar netral sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T). Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

P_N = *losses* pada penghantar netral trafo (*watt*)

I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

R_N = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

b. Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Grounding

Ketidakseimbangan beban juga mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada penghantar *grounding* (pentanahan), Besarnya daya yang hilang akibat arus *grounding* ini adalah sebagai berikut:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots \dots \dots (8)$$

Dimana :

P_G = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (*watt*)

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G = tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2. Menentukan Besaran Ketidakseimbangan Beban pada tiap Fasa (Analisa Pembebanan)

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$\text{Ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \dots \dots \dots (9)$$

2.METODE PENELITIAN

Prosedur Penelitian

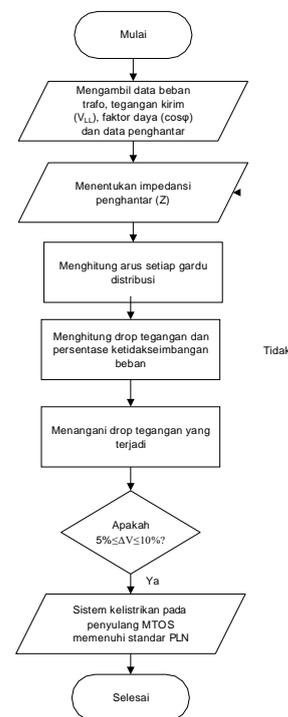
Dalam menyelesaikan laporan penelitian proyek akhir ini, tentu harus mengikuti langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis agar dalam menganalisis *drop* tegangan dan ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi dapat di kerjakan dengan baik dan benar, adapun prosedur yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Mengambil *Single Line Diagram*, Penyulang Mtos di PT. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur,
2. Melakukan survei lapangan, untuk mengukur arus beban trafo pada Jaringan Tegangan Rendah Penyulang Mtos,
3. Mengambil data-data yang diperlukan untuk perhitungan *drop* tegangan Jaringan Tegangan Menengah pada Penyulang Mtos dan ketidakseimbangan beban Jaringan Tegangan Rendah,
4. Menghitung besar *drop* tegangan dan ketidakseimbangan beban

menggunakan rumus-rumus yang telah ditentukan,

5. Menemukan penyebab terjadinya *drop* tegangan,
6. Merumuskan dan menyajikan solusi terhadap penyebab *drop* tegangan dan ketidakseimbangan beban yang terjadi di Penyulang Mtos,
7. Menuliskan kesimpulan terhadap permasalahan yang diangkat pada proyek akhir ini.

Berikut adalah *flowchart* yang penulis terapkan untuk menyelesaikan proyek akhir ini :

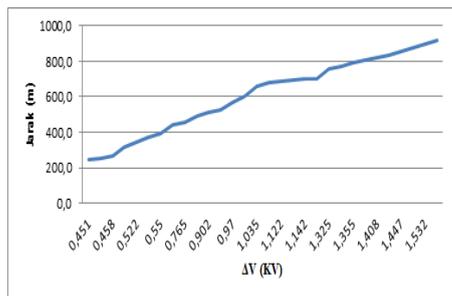


Gambar 5. Flowchart Prosedur Penelitian

Hasil Penelitian

Drop tegangan

Dari hasil perhitungan *drop* tegangan yang didapatkan maka *drop* tegangan yang terjadi pada penyulang MTOS dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 6. Grafik perbandingan antara *drop* tegangan dan panjang penghantar.

Dari data yang terbaca pada kubikel penyulang MTOS di Gardu Induk (GI), nilai tegangan kirim pada penyulang MTOS adalah 20,1 kV dengan faktor daya ($\cos \theta$) sebesar 0,96. Penyulang MTOS melayani 30 Selain itu nilai impedansi juga mempengaruhi besarnya *drop* tegangan yang terjadi pada penyulang MTOS, dimana impedansi dipengaruhi resistansi saluran dan reaktansi saluran. Semakin besar nilai resistansi dan reaktansi dari jaringan maka *drop* tegangan yang terjadi pada penyulang tersebut akan semakin besar pula.

buah trafo distribusi dengan panjang penghantar 917,9 meter.

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa nilai *drop* tegangan pada penyulang MTOS adalah 1,645 kV atau dalam persentase sebesar 8,185 %. Jadi besarnya tegangan pada ujung sisi penerima (GT- IMZ 30) adalah sebesar 18,455 kV.

Dari grafik perbandingan antara *drop* tegangan dan panjang penghantar dapat dilihat bahwa panjang saluran dan besarnya beban pada penyulang MTOS sangat mempengaruhi besarnya nilai *droptegangan* yang terjadi pada penyulang tersebut. Semakin panjang saluran dan semakin besar nilai beban maka semakin besar pula nilai *drop* tegangan pada penyulang tersebut.

Nilai persentase *drop* tegangan yang didapatkan pada penyulang MTOS ini masih memenuhi standar besar *drop* tegangan yang diatur oleh PLN yaitu sekurang-kurangnya 10 % dari tegangan nominalnya. Pada penyulang ini penambahan beban masih bisa dilakukan namun perlu diperhatikan besar nilai *drop* tegangannya jangan sampai melewati

18,09 kV atau -10 % dari tegangan kirimnya.

Drop tegangan dapat diatasi dengan cara melakukan penggantian luas penampang penghantar dari 150 mm² menjadi 240 mm².

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa ketika luas penampang penghantar pada penyulang MTOS diganti menjadi 240 mm² nilai impedansi penghantar menjadi kecil sehingga nilai *drop* tegangannya berkurang menjadi 1,158 kV atau sebesar 5,761%. Nilai *drop* tegangan untuk luas penampang 240 mm² lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai *drop* tegangan untuk luas penampang yang digunakan penyulang MTOS saat ini yaitu 150 mm². Penggantian luas penampang 150 mm² menjadi 240 mm² dapat mengurangi *drop* tegangan pada penyulang MTOS sebesar 0,487 atau 2,424%.

Ketidakseimbangan Beban

Pada suatu trafo distribusi, pembagian beban pada sisi R, S, dan T pada umumnya dirancang seimbang, namun kenyataannya pada trafo distribusi yang ada dilapangan pembagian bebannya tidak dapat

seimbang. Hal ini dikarenakan adanya konsumen baru bagi PLN sehingga rancangan yang tadinya seimbang menjadi tidak seimbang pada salah satu fasanya, atau pemakaian beban oleh pelanggan PLN yang tidak serempak dalam pemakaiannya dan pemakaian beban yang berbeda-beda. Untuk mengetahui ketidakseimbangan arus beban (dalam %) pada trafo distribusi dapat digunakan persamaan 2.13 pada teori dasar. Adapun contoh perhitungan ketidakseimbangan arus beban pada trafo distribusi penyulang MTOS adalah sebagai berikut :

a. Pembebanan tafo

$$I_{\text{ratasiang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{70 + 93 + 75}{3} = 79,33 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{141 + 123 + 111}{3} = 125 \text{ A}$$

b. Ketidakseimbangan Beban pada Trafo

1) Pada Siang Hari :

Dengan menggunakan persamaan (2.13), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang

(I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a \cdot I$$

$$\text{maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{70}{79,33} = 0,88$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$\text{maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{93}{79,33} = 1,17$$

$$I_T = c \cdot I$$

$$\text{maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{75}{79,33} = 0,94$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

Ketidakseimbangan

$$\begin{aligned} &= \frac{\{| a - 1| + | b - 1| + | c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{| 0,88 - 1| + | 1,17 - 1| + | 0,94 - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= 11,67\% \end{aligned}$$

Jadi, persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari adalah 11,67 %.

2) Pada Malam Hari :

Dengan menggunakan persamaan (2.13), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang

(I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a \cdot I$$

$$\text{maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{141}{125} = 1,13$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$\text{maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{123}{125} = 0,98$$

$$I_T = c \cdot I$$

$$\text{maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{111}{125} = 0,88$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

Ketidakseimbangan

$$\begin{aligned} &= \frac{\{| a - 1| + | b - 1| + | c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{| 1,13 - 1| + | 0,98 - 1| + | 0,88 - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= 9\% \end{aligned}$$

Jadi, persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari adalah 9 %.

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa baik pada siang hari maupun malam hari, ketidakseimbangan bebannya yaitu (> 5%), hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata diantara konsumen.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah

pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah.

Dari data yang didapatkan pada siang hari arus netral pada trafo lebih besar dari arus netral pada malam hari dan demikian pula dengan persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari pada trafo ini lebih besar dari persentase ketidakseimbangan beban pada malam hari. Besarnya persentase ketidakseimbangan pada siang hari menandakan bahwa ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) pada siang hari lebih besar sehingga menyebabkan nilai arus di netral trafo pada siang hari lebih besar dari malam hari.

Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Drop* tegangan pada penyulang MTOS yaitu sebesar 1,645kV pada GT-IMZ 30, untuk panjang saluran 917,9 meter, arus beban puncak tertinggi 130 A dan jenis penghantar yang digunakan

AAAC 150 mm² dan XLPE 150 mm².

2. *Drop* tegangan dapat ditangani dengan melakukan penggantian penghantar saluran dari AAAC 150 mm² menjadi AAAC 240 mm², sehingga impedansi saluran akan turun dan tegangan ujung akan naik.
3. Dari hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada trafo GT - IMZ 27 didapatkan persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari sebesar 11,67% dan pada malam hari 9% nilai presentase ketidakseimbangan yang didapatkan masih memenuhi standar PLN.

B. Saran

Adapun beberapa saran kepada PLN dari hasil perhitungan *drop* tegangan dan ketidakseimbangan pada penyulang MTOS antara lain yaitu:

1. Untuk mengurangi *drop* tegangan dapat dilakukan usaha dengan menggunakan penghantar yang luas penampangnya lebih besar karena mempunyai nilai impedansi yang lebih kecil agar jika terjadi penambahan beban JTM di masa

yang akan datang, *drop* tegangan yang terjadi dapat diminimalkan.

2. Sebaiknya trafo pembebanannya lebih dari 80% diganti dengan trafo yang kapasitasnya lebih besar atau diberi trafo sisipan

.DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Dr. A, & Kuwahara, Dr. S. 1993. *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Bone, Sulhan. 2009. *Evaluasi Akibat Pembebanan Tak Seimbang pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah*. Tesis. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Edminister A, Joseph. 1984. *Rangkaian Listrik*. Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga.
- Hakiki, Ikhlas. 2011. *Analisis Drop Tegangan Pada Feeder Setapak Gardu Induk Sei-Wie PT PLN (Persero) Cabang Singkawang*. Tugas Akhir. Pontianak : Politeknik Negeri Pontianak.
- Muhdar, Isla Juniarti, & Yunus, Suherman. 2013. *Evaluasi Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Tegangan Menengah 20 KV Feeder Bojo PT PLN (Persero) Rayon Mattirotasi*. Tugas Akhir. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Pabla, A. S. Alih Bahasa Oleh Hadi, Ir. Abdul. 1994. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- PT. PLN, 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta : PT. PLN (PERSERO).
- SPLN 1 : 1978. 1978. *Variasi Tegangan TR*. Jakarta : PT PLN
- SPLN 64 : 1985. 1985. *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah. Perusahaan Umum Listrik Negara*. Jakarta : PT PLN.
- Sudaryanto Sudirham, Dr. 1991. *Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran*. Bandung : ITB, Tim Pelaksana Kerjasama PLN-ITB.