

Studi Analisis Rugi-Rugi Daya pada Penghantar Netral Akibat Sistem Tidak Seimbang di Jaringan Distribusi Gardu KA 1495 Penyulang Citraland Menggunakan Simulasi Program ETAP 7.0.

I Wayan Suwardana, I Putu Sutawinaya dan I Ayu Rai Wulandari

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O.Box 1064 Tuban Badung-BALI
Phone : (0361)701981, Fax : (0361)701128

Abstrak : Pada suatu sistem distribusi tenaga listrik, ketidakseimbangan beban sering kali terjadi sebagai akibat sulitnya mengatur beban di sisi pelanggan. Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban tersebut, muncul arus pada penghantar netral. Arus yang mengalir pada penghantar netral ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya (*losses*). Pada penelitian ini, penulis melakukan analisis bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban pada Gardu Distribusi KA 1495 terhadap rugi-rugi daya penghantar netral saluran induk menggunakan program ETAP 7.0. Adapun hasil yang diperoleh, prosentase pembebanan trafo mengacu pada dasar data hasil pengukuran adalah sebesar 83,96 %, sedangkan yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 84,77 %. Prosentase ketidakseimbangan beban mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 55,62%, sedangkan yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 55,07 %. Besarnya arus netral mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 155,2409 ampere, sedangkan yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 155,8148 ampere. Rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar netral saluran induk mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 56,5138 watt, sedangkan yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah 56,9325 watt.

Kata Kunci : Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Rugi-rugi Daya

Study Analysis of Power Loss and Loss Due to Neutral Conductor System Unbalanced Distribution Network railway substation feeder Citraland KA1495 Using Simulation 7.0 ETAP Program.

Abstract : In an electric power distribution system, load imbalance often occurs as a result of the difficulty of arranging the burden on the customer side. As a result of the load imbalance, appears neutral currents in the conductors. The current flowing in the neutral conductor caused a power loss (*losses*). In this final project, the author analyzes the influence of load imbalance on KA 1495 Distribution Substation against power loss neutral conductor of the trunk using ETAP 7.0 program. The results obtained, the percentage of transformer loading refers to the basis of the measured data is equal to 83.96%, while referring to the ETAP simulation result data is at 84.77%. Percentage of load imbalance refers to the measurement data is equal to 55.62%, while referring to the ETAP simulation result data is at 55.07%. The amount refers to the neutral current measurement data is equal to 155.2409 amperes, while referring to the data hasil ETAP simulation is equal to 155.8148 amperes. Power loss that occurs on the neutral conductor of the trunk draws on data measurement result is equal to 56.5138 watts, while referring to the ETAP simulation result data is 56.9325 watts.

Keywords: Imbalance Load, Neutral Flow, Power Losses

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan ekonomi yang semakin pesat, kebutuhan akan tenaga listrik juga semakin meningkat. Dengan meningkatnya pasang baru dan penambahan daya, maka beban pada trafo-trafo distribusi PLN semakin tinggi. Pemasangan sambung baru dan penambahan daya yang tidak memperhatikan pembebanan trafo menyebabkan ketidakseimbangan beban pada trafo tersebut. Ketidakseimbangan beban pada Gardu Distribusi KA 1495 tersebut disebabkan oleh pengaturan beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah yang relatif tidak seimbang. Kondisi pembebanan pada Gardu Distribusi KA 1495 di

Penyulang Citraland hingga akhir bulan Maret 2014 terjadi ketidakseimbangan beban fasa R, fasa S, dan fasa T sebesar 57,3 %. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus pada titik netral trafo. Arus yang mengalir pada netral trafo ini merupakan rugi-rugi (*losses*) bagi PLN.

Untuk dapat mengevaluasi dan menganalisis terjadinya rugi-rugi daya sedini mungkin dengan cepat dan efisiensi, maka dibutuhkan suatu perangkat lunak (*software*). ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) Power Station 7.0 merupakan *software* yang dapat digunakan sebagai alat (*tools*) analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik

secara *off line* dalam bentuk modul simulasi. Pada penelitian ini, Penulis menggunakan *software* ETAP 7.0. hanya untuk mengetahui arus dan tegangan induk perfasa serta faktor dayanya ($\cos \phi$) di sisi LV Board. Data-data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam menghitung besarnya prosentase pembebanan, prosentase ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi-rugi daya pada Transformator KA 1419. Untuk menguji kebenaran hasil perhitungan yang menggunakan data hasil simulasi ETAP, penulis juga melakukan perhitungan dengan acuan data pengukuran secara langsung ke obyek penelitian pada kondisi beban dasar.

II. LANDASAN TEORI

2.1 ETAP Power Station

ETAP Power Station (*Electrical Transient Analysis Program Power Station*) 7.0 merupakan *software full grafis* yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energy sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. ETAP Power Station juga menyediakan fasilitas *library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. ETAP Power Station dapat digunakan untuk mengambarkan *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor starting, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination* dan *cable derating*.

2.2 Sistem Tiga Fasa Terhubung Bintang dengan Beban yang Seimbang dan Tidak Seimbang

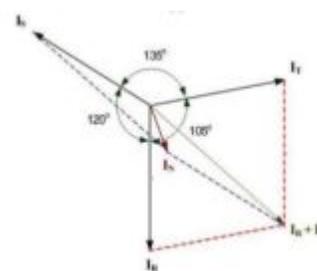
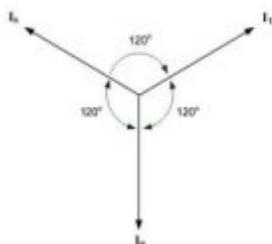
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

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



Gambar 1. Vektor Diagram Arus

Gambar 1 (a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang, di mana terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan pada gambar 1 (b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang, di mana terlihat penjumlahan ketiga vektor arusnya tidak sama sehingga muncul suatu besaran pada titik netral.

2.3 Perhitungan Nilai Rata-rata

Untuk menghitung Nilai rata-rata dari suatu data dapat digunakan perumusan seperti berikut :

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\text{Data 1} + \text{Data2} + \text{Data3} + \dots + \text{Data i}}{N \text{ data}}$$

2.4 Perhitungan Prosentase Pembebanan Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)}$$

di mana :

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (V)

I = Arus (A)

Sehingga, untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan :

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

di mana :

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (V)

Dalam menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ^[6]:

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{V \times I \times \sqrt{3}}{\text{Daya Transformator}} \times 100\%$$

di mana :

V : tegangan fasa-fasa (V)

I : arus rata-rata (A)

2.5 Perhitungan Prosentase Ketidakseimbangan Beban

Untuk menentukan besarnya ketidakseimbangan beban pada tiap fasa, dapat digunakan perumusan sebagai berikut:

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

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

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

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

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, untuk menentukan prosentase ketidakseimbangan beban rata-rata dapat digunakan perumusan sebagai berikut :

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

2.6 Perhitungan Hukum Ohm Rangkaian AC

Hukum Ohm rangkaian AC adalah sebagai berikut:

$$V = I \cdot Z \quad \text{maka } Z = \frac{V}{I}$$

di mana :

V = Tegangan (V)

I = arus (A)

Z = impedansi (Ω)

2.7 Perhitungan Reaktansi Transformator Distribusi

Untuk menghitung nilai reaktansi transformator distribusi sisi sekunder dapat digunakan perhitungan sebagai berikut [9]:

$$X_{\text{trafo}} = \frac{V_L - L^2}{S_{\text{phasa}}} \times \text{Impedansi P.U}$$

di mana :

X_{trafo} = reaktansi transformator sisi sekunder (Ω)

V_{L-L} = tegangan fasa-fasa sisi sekunder transformator (V)

Impedansi P.U = impedansi transformator per unit (%)

2.8 Perhitungan Arus Netral

Perhitungan arus netral dengan melibatkan nilai-nilai impedansi masing-masing fasa, dapat dirumuskan :

$$I_N = \frac{VRN}{ZR} + \frac{VSN}{ZS} + \frac{VTN}{ZT}$$

$$= IR + IS + IT$$

Untuk mencari impedansi pada masing-masing fasa digunakan rumus sebagai berikut.

$$Z_{\text{total}} = Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{penghantar}} + Z_{\text{beban}}$$

$$\text{di mana, } Z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

2.9 Perhitungan Rugi-Rugi Daya akibat Beban Tidak Seimbang

Besarnya rugi-rugi daya pada penghantar netral akibat beban tidak seimbang dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

III. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

3.1 Data Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi ETAP

Tabel 1. Data hasil pengukuran

Arus Induk (ampere)	Tegangan (volt)	Cos Phi Beban
IR	VRN	0,909
IS	VSN	0,909
IT	VTN	0,91

Tabel 2. Data hasil simulasi ETAP

Arus Induk (ampere)	Tegangan (volt)	Cos Phi
IR	VRN	0,85
IS	VSN	0,85
IT	VTN	0,85

3.2 Perhitungan Pembebanan Transformator

Untuk mengetahui besarnya prosentase pembebanan Transformator Distribusi KA1495 penulis terlebih dahulu menghitung arus rata-rata dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$= \frac{69,8A + 71,7A + 222,5A}{3}$$

$$= \frac{364A}{3}$$

$$= 121,33A$$

Sehingga besarnya persentase beban dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{400 \times 121,33 \times \sqrt{3}}{100.000} \times 100\%$$

$$= 83,96\%$$

Jadi, kondisi pembebanan transformator KA1495 ketika beban dasar adalah sebesar 83,96%.

Dengan menggunakan perhitungan yang sama maka diperoleh besarnya prosentase pembebanan transformator mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah 84,77%

Untuk menghitung seberapa besar prosentase ketidakseimbangan beban pada transformator KA1495 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IR = a. \text{ Irata-rata, maka } a = \frac{IR}{\text{Irata-rata}}$$

$$= \frac{69,8 \text{ amp}}{121,33 \text{ amp}} = 0,5752$$

$$IS = b. \text{ Irata-rata, maka } b = \frac{IS}{\text{Irata-rata}}$$

$$= \frac{71,7 \text{ amp}}{121,33 \text{ amp}} = 0,590$$

$$IT = c. \text{ Irata-rata, maka } c = \frac{IT}{\text{Irata-rata}}$$

$$= \frac{222,5 \text{ amp}}{121,33 \text{ amp}} = 1,8338$$

% ketidakseimbangan beban

$$= \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{|0,5752-1|+|0,590-1|+|1,8338-1|}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{|-0,4248|+|-0,410|+|0,8338|}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,6686}{3} \times 100 \%$$

$$= 55,62\%$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka diperoleh besarnya prosentase ketidakseimbangan beban mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 55,07 %.

3.3 Perhitungan Arus Netral

Dalam menghitung Arus netral diperlukan nilai-nilai impedansi dari masing-masing fasa R, Fasa S, Fasa T pada Gardu Distribusi KA 1495

- Menghitung impedansi total fasa R

$$Z_{\text{total fasa R}} = Z_{\text{Trafo R}} + Z_{\text{penghantar R}} + Z_{\text{beban R}}$$

- Menghitung Z trafo R

Diketahui Impedansi trafo 4% = Ω

$$S_{3\text{phasa}} = 100.000 \text{ VA}$$

$$S_{1\text{phasa}} = \frac{100.000}{3} = 33333,333 \text{ VA}$$

Impedansi trafo pada sisi sekunder dalam satuan ohm (Ω) adalah dapat ditulis sebagai berikut :

$$Z_{\text{trafo}}(\Omega) = \frac{[V_{\text{phasa-netral (sisi sekunder)}}]^2}{S_{1\text{phasa}}} \times Z_{\text{trafo}}(\%)$$

dimana :

$$Z = R + jX$$

Menurut Ir. Wahyudi Sarimun untuk menghitung nilai impedansi trafo pada sisi sekunder, maka resistansi (R) trafo dapat diasumsikan sama dengan nol, maka :

$$Z_{\text{trafo}}(\Omega) = 0 + jX$$

$$= jX$$

$$X_{\text{trafo}} = 0,06348 \Omega$$

$$\text{Sudut} = \arctan \frac{0,06348}{0}$$

$$\text{Sudut} = 90^\circ$$

Jadi, impedansi belitan trafo untuk fasa R diperoleh sebesar 0,06348 Ω $\angle 90^\circ$

- Menghitung Z penghantar R

Dari data kareakteristik penghantar tersebut, maka dapat diketahui nilai resistansi dan nilai reaktansi untuk penghantar (kabel) induk dengan panjang 7 meter adalah sebagai berikut :

$$r : 0,335 \times \frac{7 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,00234 \Omega$$

$$x : 0,090 \times \frac{7 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,0006 \Omega$$

$$Z_{\text{penghantar R}} = \sqrt{0,00234^2 + 0,0006^2}$$

$$= 0,00241 \Omega$$

$$\text{Sudut} = \arctan \frac{0,0006}{0,00234}$$

$$\text{Sudut} = 14,38^\circ$$

Jadi Impedansi penghantar pada fasa R diperoleh sebesar 0,00241 Ω $\angle 14,38^\circ$

- Menghitung beban R

Diketahui :

$$V_{\text{beban R}} = 222 \text{ Volt}$$

$$I_{\text{beban R}} = 69,8 \text{ Ampere}$$

$$V_{\text{beban R}} = I_{\text{beban R}} \times Z_{\text{beban R}}$$

$$Z_{\text{beban R}} = \frac{222}{69,8}$$

$$Z_{\text{beban R}} = 3,1805 \Omega$$

$$\cos \square \text{ beban} = 0,909$$

sehingga sudut untuk $Z_{\text{beban R}}$ adalah $\text{Arc cos } 0,909 = 24,63^\circ$

$$\text{Jadi } Z_{\text{beban R}} = 3,1805 \Omega \angle 24,63^\circ$$

- Menghitung $Z_{\text{total fasa R}}$

Impedansi total pada fasa R dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_{\text{total fasa R}} = Z_{\text{Trafo R}} + Z_{\text{penghantar R}} + Z_{\text{beban R}}$$

$$Z_{\text{total fasa R}} = 0,06348 \Omega \angle 90^\circ + 0,00241 \Omega \angle 14,38^\circ + 3,1805 \Omega \angle 24,63^\circ$$

$$Z_{\text{Trafo R}} = 0,06348 \Omega \cdot \cos 90^\circ + j 0,06348 \cdot \sin 90^\circ$$

$$Z_{\text{penghantar R}} = 0,00241 \Omega \cdot \cos 14,38^\circ + j 0,00241 \Omega \cdot \sin 14,38^\circ$$

$$Z_{\text{Beban R}} = 3,1805 \Omega \cdot \cos 24,63^\circ + j 3,1805 \cdot \sin 24,63^\circ$$

$$Z_{\text{Beban R}} = 2,8911 + j 1,3254$$

$$Z_{\text{Total R}} = 2,8934 + j 1,3894$$

Jadi $Z_{\text{total fasa R}}$ adalah

$$Z_{\text{total}} = 2,8934 + j 1,3894$$

$$Z_{\text{total}} = \sqrt{2,8934^2 + 1,3894^2}$$

$$Z_{\text{total}} = 3,2097 \Omega$$

$$\text{Sudut} = \arctan \frac{1,3894}{2,8934}$$

$$\text{Sudut} = 25,65^\circ$$

Jadi Impedansi total pada fasa R diperoleh sebesar 3,2097 Ω $\angle 25,65^\circ$

Dengan melakukan perhitungan yang sama, maka diperoleh impedansi total fasa S sebesar 3,1218 Ω $\angle 25,67^\circ$ sdangkan impedansi total fasa R sebesar 1,0098 Ω $\angle 27,74^\circ$

- Menghitung Arus Netral

$$I_N = \frac{V_{R,N} \angle 0^\circ}{Z_{total\ phase\ R}} + \frac{V_{S,N} \angle 120^\circ}{Z_{total\ phase\ S}} + \frac{V_{T,N} \angle 240^\circ}{Z_{total\ phase\ T}}$$

Di mana, dalam perumusan ini tegangan fase ke netral dianggap konstan yakni 230 volt.

Sehingga :

$$I_N = \frac{230 \angle 0^\circ}{3,2097 \Omega \angle 25,65^\circ} + \frac{230 \angle 120^\circ}{3,1218 \Omega \angle 25,67^\circ} + \frac{230 \angle 240^\circ}{1,0098 \Omega \angle 27,74^\circ}$$

$$I_N = (-133,5618) + (-j. 79,1264)$$

$$I_N =$$

$$\sqrt{(-133,5618)^2 + (-j. 79,1264)^2}$$

$$I_N = 155,2409 \text{ Ampere}$$

Jadi besarnya arus netral yang dihitung menggunakan acuan data pengukuran adalah 155,2409 Ampere.

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka di peroleh besarnya arus netral dari hasil perhitungan yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah 155,8148 ampere.

3.4 Perhitungan Tahanan Penghantar Netral (RN)

RN = Tahanan penghantar (perkilometer) x panjang penghantar

$$RN = 0,335 \times \frac{7 \text{ m}}{1000 \text{ m}}$$

$$RN = 0,002345 \Omega$$

3.5 Perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar netral saluran induk transformator

- ❖ Rugi-rugi daya

mengacu pada data hasil pengukuran

$$P_{\text{rugi daya}} = I_N^2 \cdot RN$$

$$P_{\text{rugi daya}} = 155,2409^2 \times 0,002345$$

$$P_{\text{rugi daya}} = 56,5138 \text{ watt}$$

Jadi besarnya rugi-rugi daya yang terjadi pada Trafo Distribusi KA1495 yang dihitung menggunakan data hasil pengukuran adalah sebesar 56,5138 watt

- ❖ Rugi-rugi daya

untuk data hasil simulasi ETAP

$$P_{\text{rugi daya}} = I_N^2 \cdot RN$$

$$P_{\text{rugi daya}} = 155,8148^2 \times 0,002345$$

$$P_{\text{rugi daya}} = 56,9325 \text{ watt}$$

Jadi besarnya rugi-rugi daya yang terjadi pada Trafo Distribusi KA1495 yang dihitung menggunakan data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 56,9325 watt.

3.6 ANALISIS

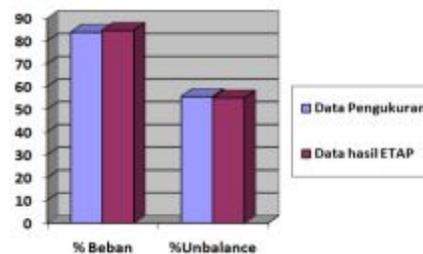
3.6.1 Analisis Terhadap Pembebanan Transformator KA 1495

Dari hasil perhitungan-perhitungan yang dilakukan sebelumnya, diperoleh nilai prosentase pembebanan trafo yang mengacu pada data hasil pengukuran adalah

sebesar 83,96 % sedangkan prosentase pembebanan trafo yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 84,77%. Terdapat selisih yang relatif kecil antara kedua hasil perhitungan ini, yaitu sebesar 1,01%.

Begitu juga nilai prosentase ketidakseimbangan beban Gardu Distribusi KA1495 yang mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 55,62% sedangkan prosentase ketidakseimbangan beban Gardu KA1495 yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 55,07%. Terdapat selisih yang relatif kecil antara kedua hasil perhitungan ini, yaitu sebesar 0,55%. Bila divisualisasikan ke dalam bentuk diagram blok (karakteristik) kedua hasil perhitungan tersebut adalah seperti terlihat pada gambar 2.

Perbedaan hasil perhitungan prosentase pembebanan trafo dan ketidakseimbangan beban tersebut terjadi akibat besarnya arus yang diperoleh dari hasil pengukuran berbeda dengan besarnya arus yang diperoleh hasil simulasi ETAP. Perbedaan hasil pengukuran dan hasil simulasi ETAP bisa saja terjadi seperti misalnya saat melakukan pengukuran arus dan tegangan pada gardu distribusi KA1495, alat ukur yang digunakan tidak presisi. Sedangkan arus yang diperoleh dari hasil simulasi ETAP adalah dalam kondisi ideal. Hal tersebut merupakan salah satu faktor yang diprediksi penyebab terjadinya perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil simulasi ETAP.

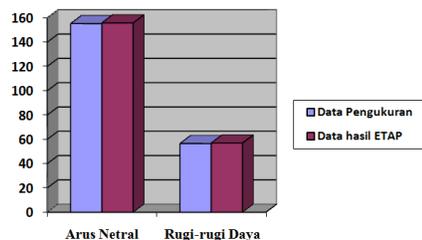


Gambar 2. Karakteristik % Pembebanan dan % ketidakseimbangan beban (*unbalance*) Trafo KA 1495

3.6.2 Analisis Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi Daya pada Transformator KA 1495

Besarnya prosentase ketidakseimbangan beban terjadi karena beban-beban antara fasa R, fasa S dan fasa T mempunyai selisih yang sangat besar sesuai dengan data hasil pengukuran yakni 55,62% dan data hasil simulasi ETAP yakni 55,07%. Akibat dari ketidakseimbangan beban ini adalah timbulnya arus yang mengalir pada saluran netral trafo. Arus yang mengalir pada saluran netral trafo ini menyebabkan rugi-rugi daya / losses pada Transformator. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil besarnya arus yang mengalir pada netral Transformator Distribusi KA1495 yang mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 155,2409 ampere. Sedangkan hasil perhitungan

besarnya arus yang mengalir pada saluran netral transformator yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 155,8148 ampere. Terdapat selisih antara kedua hasil perhitungan ini, yaitu sebesar 0,36%. Dari besarnya nilai arus yang mengalir pada penghantar netral transformator tersebut, maka diketahui besarnya rugi-rugi daya yang mengacu pada hasil pengukuran adalah 56,5138 watt sedangkan besarnya rugi-rugi daya yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah 56,9325 ampere. Terjadi selisih antara kedua perhitungan tersebut, yaitu 0,73%. Bila divisualisasikan ke dalam bentuk diagram blok (karakteristik) kedua hasil perhitungan tersebut adalah seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3 Karakteristik besarnya Arus Netral dan Rugi-Rugi Daya pada Trafo KA 1495

Idealnya besarnya arus yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan besarnya arus yang diperoleh dari hasil simulasi ETAP mempunyai nilai yang sama. Sehingga rugi-rugi daya yang terhitung dari hasil pengukuran dengan rugi-rugi daya yang terhitung dari hasil simulasi ETAP mempunyai nilai yang sama. Namun dalam kasus ini, terdapat selisih antara besarnya nilai arus dari hasil pengukuran dengan besarnya nilai arus yang diperoleh dari simulasi ETAP. Hal ini diduga disebabkan oleh pengaruh beberapa komponen-komponen atau parameter-parameter yang digunakan, diantaranya :

1 Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besarnya arus pada trafo ini menggunakan alat ukur digital. Kemungkinan alat ukur tersebut sudah tidak presisi karena alat ukur tersebut telah digunakan berkali-kali dalam jangka waktu lebih dari tiga tahun. Sedangkan dalam simulasi ETAP data-data bersifat konstan dan dalam keadaan ideal.

2 Trafo

Kondisi trafo yang nyata di lapangan tidak sama dengan trafo yang digunakan dalam simulasi ETAP. Pada saat dilakukan pengukuran, trafo KA 1495 sudah terpengaruh dengan kenaikan temperature atau lingkungan, sedangkan trafo yang digunakan dalam simulasi ETAP adalah trafo dalam kondisi ideal. Selain itu umur trafo juga berpengaruh terhadap selisih antara rugi-rugi daya yang mengacu pada

hasil pengukuran dengan rugi-rugi daya yang mengacu pada hasil simulasi ETAP, di mana trafo yang digunakan pada simulasi ETAP dalam kondisi ideal atau diasumsikan berumur 0 tahun.

3 Penghantar (Kabel)

Kondisi saluran (kabel) yang digunakan di lapangan tidak sama dengan kondisi kabel yang digunakan dalam simulasi ETAP. Parameter-parameter yang berpengaruh pada penghantar (kabel) diantaranya adalah : umur teknis, panjang, luas penampang, nilai konduktifitas (tahanan jenis) sesuai bahan konduktornya, dan lain-lain.

Penghantar (kabel) yang digunakan di lapangan diasumsikan telah digunakan selama 1,5 tahun sehingga kualitas konduktor saluran (kabel) tersebut menurun sehingga KHA dari kabel tersebut juga menurun. Di samping itu kualitas isolasi saluran (kabel) juga menurun, sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya meningkat. Sedangkan data kabel yang digunakan dalam simulasi ETAP adalah bersifat ideal, di mana data saluran (kabel) disesuaikan dalam fasilitas ETAP pada *library*. Selain itu dalam simulasi ETAP panjang saluran rumah diasumsikan 30 meter, sesuai dengan SPLN yaitu panjang tarikan saluran rumah maksimal. Sedangkan kondisi di lapangan panjang saluran rumah berbeda-beda namun tidak melebihi batas maksimal.

4 Beban (*Load*)

Sama halnya dengan saluran (kabel), beban (*load*) yang dipakai pada simulasi ETAP tidak sama dengan kondisi beban di lapangan. Seperti yang telah diketahui, terdapat 2 jenis beban, yaitu beban dinamis dan beban statis. Dalam simulasi ETAP penggunaan beban dinamis diasumsikan 50% begitu pula penggunaan beban statis diasumsikan 50%. Namun kondisi di lapangan, penggunaan beban statis dan beban dinamis berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan konsumen (pelanggan) atau sesuai karakteristik beban pelanggan yang bersifat variabel (berubah-ubah setiap saat). Dalam hal ini, sesuai data yang ada dan berdasarkan hasil observasi langsung ke lapangan bahwa pelanggan gardu distribusi KA 1495 hampir sebagian besar merupakan beban rumah tangga

5 Waktu Pengambilan Data

Waktu pengambilan data juga salah satu pemicu terjadinya selisih nilai arus antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi ETAP. Pengukuran arus pada Gardu Distribusi KA 1495 dilakukan pukul 14.00 – 15.00 (sore hari). Sedangkan pada simulasi ETAP waktu tidak berpengaruh, sehingga terjadi selisih nilai arus yang diduga disebabkan oleh terjadinya kenaikan temperature pada alat ukur tersebut.

6 Demand Faktor

Pada kondisi di lapangan, faktor kebutuhan atau penggunaan beban (*demand factor*) tidak dapat diprediksi, karena pemakaian beban yang berubah ubah setiap saat (tidak konstan). Sedangkan dalam simulasi ETAP, Penulis mengasumsikan faktor kebutuhan atau penggunaan beban (*demand factor*) adalah konstan dengan *setting* sebesar 80 %.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut :

- a. Pada gardu distribusi KA 1495, prosentase pembebanan trafo yang mengacu pada dasar data hasil pengukuran sebesar 83,96 %, sedangkan prosentase pembebanan trafo yang mengacu pada dasar data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 84,77 %. Terjadi selisih antara kedua perhitungan tersebut yang relatif kecil, yakni sebesar 1,01 %
- b. Berdasarkan hasil pengukuran dan hasil simulasi ETAP, penulis mendapatkan besarnya prosentase ketidakseimbangan beban trafo KA 1495 yang mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 55,62%, sedangkan prosentase ketidakseimbangan beban yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 55,07 %. Terjadi selisih antara kedua perhitungan tersebut yang relatif kecil, yakni sebesar 0,55 %.
- c. Besarnya prosentase ketidakseimbangan beban trafo pada gardu distribusi KA1495 mengakibatkan munculnya arus pada penghantar netral. Besarnya arus yang mengalir pada netral Transformator Distribusi KA1495 yang mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 155,2409 ampere. Sedangkan hasil perhitungan besarnya arus yang mengalir pada penghantar netral transformator yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah sebesar 155,8148 ampere. Terdapat selisih antara kedua hasil perhitungan tersebut yang relatif kecil, yakni sebesar 0,36%.
- d. Rugi-rugi daya pada penghantar netral saluran induk yang terjadi akibat adanya arus netral pada gardu distribusi KA 1495 mengacu pada data hasil pengukuran adalah sebesar 56,5138 watt, sedangkan mengacu pada data hasil simulasi ETAP adalah 56,9325 watt. Terjadi selisih antara kedua perhitungan tersebut yang relatif kecil, yakni sebesar 0,73%.

4.2 Saran

- a. Penggunaan perangkat lunak ETAP sangat bermanfaat sebagai alat bantu untuk menganalisis dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. Namun yang perlu diperhatikan adalah ketika menginput data. Disarankan, data yang digunakan

sebaiknya data riil (data lapangan) bukan data dari fasilitas ETAP seperti dalam *library* yang ada.

- b. Kondisi pembebanan gardu distribusi KA 1495 yang tidak seimbang mengakibatkan munculnya arus pada penghantar netral. Arus yang muncul pada penghantar netral tersebut berakibat terhadap rugi-rugi daya (*losses*) pada gardu distribusi KA 1495. Untuk meminimalkan rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem ini, disarankan kepada PT. PLN (Persero) Area Bali Selatan Rayon Kuta untuk melakukan pemerataan beban. Banyak cara atau metode yang dapat digunakan untuk meratakan beban diantaranya adalah dengan memindahkan tarikan saluran rumah (SR) dari fasa yang padat pembebanannya menuju fasa yang ringan pembebanannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta: UI-Press, 2000
- [2] Abdul Kadir, *Transformator*, Jakarta: Universitas Indonesia, 1977.
- [3] Aditya Prayoga, dkk. (2010). *Transformer* [online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/32675886/Transformer-Paper>. (Accessed : 2 juni 2014).
- [4] Ahmad Deni Mulyadi, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi," *Metrik Polban*, [online], vol 5, no 1, 24-28, 2011. <http://jurnal.polban.ac.id/index.php/mesin/article/download/23/20>. (Accessed : 8 juni 2014)
- [5] Daman Suswanto. (2009, Juli). *Sistem distribusi Tenaga Listrik*. Universitas Negeri Padang. Padang. [online]. Available : <http://daman48.wordpress.com/> (Accessed : 20 juni 2014).
- [6] Frank D. Petruzella, *Elektronok Industri*, Jakarta: Andi Offset, 2001.
- [7] Hasanbasri, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Jakarta : Universitas Sriwijaya ,1997.
- [8] Ir. Sulasno, *Instalasi Tenaga Listrik*, Semarang : Satya Wacana, 1993.
- [9] Ir.Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik*, Bekasi : Garamond,2011.[10] Ir. Wahyudi Sarimun. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok : Garamond, 2012.
- [11] Jane C Golden, Daniel S Miles, "Assesment of peripheral hemodynamic using impedance pletysmhography," *Journal of American Physical Therapy*, [online] 66:1544-1547,1986. <http://ptjournal.apta.org/content/66/10/1544>. (Accessed : 22 juli 2014).

- [12] Kelompok Kerja Standar Konstruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan : PT. PLN (Persero)
- [13] Muklis, *Matematika*, Klaten : Intan Parawira, 2005
- [14] PT. PLN (Persero), *Buku 1 Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi [1] Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2010.
- [15] PT. PLN (Persero), *Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2010.
- [16] Setiadji, Julius. 2006. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. Surabaya.
- [17] SPLN 8-1. *Transformator Tenaga*, Jakarta : Departemen Pertambangan & Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1991
- [18] S, J.C. *Power System Analysis (Short-Circuit, Load Flow and Harmonic)* Amec, inc. Atlanta, Georgia. 2002. (Accesed : 22 juni 2014).
- [19] Suhadi,dkk. *Teknik Distribusi Tenaga listrik*, Direktorat Pembina Sekolah Menengah kejuruan, 2008
- [20] *Teknik Listrik Industri, Alat Ukur dan Pengukuran Listrik* [online] 2013, http://www.siapbelajar.com/wp-content/uploads/2013/09/103_198Teknik-Listrik-Indus-Jilid-2.pdf (Accesed : 10 juni 2014)
- [21] *Tegangan Jatuh Kabel Tembaga, Pendahuluan Tegangan Jatuh Listrik*, [online] 2013, <http://www.geocities.ws/kelistrikan/powercable.htm> (Accesed : 8 juni 2014).