

ANALISIS ARUS NETRAL AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH (PT. PLN Cabang Pekanbaru Rayon Kota Barat)

Yolnasdi

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara no 4, Arengka Raya Pekanbaru

E-mail : yol_stp@ymail.com

Abstrak

Sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa empat kawat tegangan rendah 380 Volt/220 Volt umumnya dipergunakan untuk memasok kelompok beban perumahan, gedung perkantoran, kawasan industri dan lainnya. Pada kondisi operasi normal, sistem distribusi tenaga listrik mempunyai arus beban yang relatif seimbang dengan arus netral sistem sangat kecil, yakni tidak melebihi 15% dari arus normal. Namun 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 penghantar netral, dan arus yang mengalir dipenghantar netral ini disebut dengan arus netral. Arus netral ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi) pada penghantar netral tersebut. Untuk studi kasus ini diambil data pengukuran arus pada sebuah jaringan tegangan rendah trafo distribusi 380 V/220 V dengan kapasitas daya 160 kVA. Setelah dianalisa setiap tiangnya, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar (50,04%), maka arus netral yang muncul juga besar (79,5A), dan losses akibat arus netral yang timbul pada penghantar netral semakin besar pula (0,2 kW).

Kata kunci: ketidakseimbangan beban, arus netral, losses.

1. Pendahuluan

Dengan semakin berkembangnya teknologi yang menggunakan tenaga listrik maka secara tidak langsung manusia sudah tergantung terhadap tenaga listrik baik untuk rumah tangga maupun industri. Dalam hal ini PT PLN Persero dalam kapasitasnya sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bertujuan untuk memberikan pelayanan terbaik bagi konsumen listrik tidak mampu menjalankan fungsi bisnis sebagaimana semestinya yang disebabkan oleh beberapa faktor yang berdampak terhadap berkurang pendapatan dari penjualan energi listrik ini. Sehingga satu-satunya jalan untuk menyelamatkan pendapatan PT PLN Persero adalah mengurangi semaksimal mungkin potensi yang dapat menyebabkan berkurangnya pendapatan dari penjualan listrik dan hal itu adalah menekan susut/losses. Losses sendiri

sederhananya dapat diartikan listrik (KWH) yang tidak menjadi rupiah.

Ada banyak hal yang dapat menyebabkan timbul losses, salah satu diantaranya adalah Akibat dari Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi yang menyebabkan arus mengalir pada penghantar netral dan menyebabkan losses, tentu saja keseimbangan sempurna tidak dapat dilakukan, karena tentu tidak memungkinkan pengguna listrik menghidupkan peralatan yang sama dan dalam waktu bersamaan. Yang bisa dilakukan adalah membuat kondisi pemerataan yang maksimal.

Permasalahan ini muncul acap kali disebabkan kurangnya pengawasan terhadap pihak ketiga mengenai pemasangan beban, sehingga yang terjadi adalah kondisi dimana salah satu fasa dibebankan jauh melebihi fasa yang lain dan hal inilah yang menyebabkan arus yang mengalir

pada penghantar netral semakin besar. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk :

Menghitung persen ketidakseimbangan data pengukuran dan melakukan analisis terhadap pengaruh arus netral dan *losses* yang ditimbulkan dengan program MATLAB 7. Kemudian membandingkan kondisi b2ban dengan ketidakseimbangan >15% dan kondisi 15% dengan kondisi beban seimbang (ideal). Selanjutnya menghitung perkiraan kerugian PT. PLN (Persero), pada kondisi ketidakseimbangan beban >15% dan membandingkannya dengan kondisi beban ketidakseimbangan beban 15% dalam kWh dan rupiah.

Tulisan ini mengkaji tentang analisis pengaruh arus netral akibat ketidakseimbangan beban terhadap *losses* yg terjadi pada trafo distribusi tegangan rendah, dan membuat program simulasi operasi trafo jaringan tegangan rendah pada beberapa kondisi dengan program MATLAB 2007.

2. Metode Penelitian

2.1 Penyaluran dan Susut Daya

Keadaan Arus Tak Seimbang

Daya merupakan banyaknya perubahan tenaga terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus. Satuan daya adalah watt. Daya dalam watt yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali jatuh tegangan sesaat diantara beban dalam volt dengan arus sesaat yang mengalir dalam beban tersebut dalam *ampere*.

Daya Aktif $P = V \cdot I \cdot \cos \phi$ (Watt)

Daya Reaktif $Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$ (VAR)

Daya Semu $S = V \cdot I$ (V A)

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad (1)$$

Dimana :

P : Daya pada ujung kirim (Watt)

V : Tegangan fasa-netral pada ujung kirim (V)

$\cos \phi$: Faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata}} \quad (2)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata}} \quad (3)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata}} \quad (4)$$

dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad (5)$$

Apabila persamaan-persamaan di atas menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk

Koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (6)$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai :

$$a = b = c = 1. \quad (7)$$

Dengan anggapan yang sama, arus yang mengalir dipenghantar netral dapat dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} I_N &= I_R + I_S + I_T \\ &= [I] \{ a + b \cos (-120) + j \cdot b \sin (-120) + c \cos (120) + j \cdot c \sin (120) \} \\ &= [I] \{ a - (a+b) / 2 + j \cdot (c - b) (\sqrt{3}) / 2 \} \end{aligned} \quad (8)$$

Susut daya saluran adalah jumlah susut daya pada penghantar fasa dan penghantar netral, adalah :

$$\begin{aligned} P &= \{ [I_R]^2 + [I_S]^2 + [I_T]^2 \} \cdot R + (I_N)^2 \cdot R_N \\ &= (a^2 + b^2 + c^2) [I]^2 \cdot R + (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc) (I_N)^2 \cdot R_N \end{aligned} \quad (9)$$

Susut daya untuk saluran fasa adalah sebesar:

$$\Delta P = (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R_L \quad (10)$$

Susut daya pada saluran netral sebesar:

$$\Delta P = I_N^2 R_N \quad (11)$$

Arus rata-rata :

$$I_{rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (12)$$

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

$$\% Kts = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (13)$$

$$Losses \text{ Energi (kWh)} = P_{total} \cdot t$$

$$Losses \text{ Energi (Rp)} = Losses \text{ (kWh)} \times Rp/kWh \quad (14)$$

Beban Tak Seimbang Terhubung Y

Pada sistem ini masing-masing fasa akan mengalirkan arus yang tak seimbang menuju netral (pada sistem empat kawat). Sehingga arus netral merupakan penjumlahan secara vektor arus yang mengalir dari masing-masing fasa.

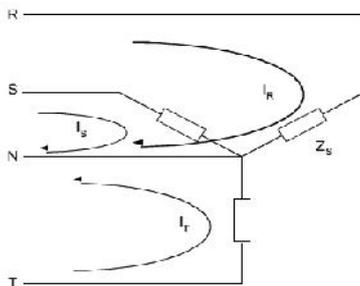
Pada sistem dengan empat kawat, akan berlaku :

$$I_R = \frac{V_{RN}}{Z_R} \quad (15)$$

$$I_S = \frac{V_{SN}}{Z_S} \quad (16)$$

$$I_T = \frac{V_{TN}}{Z_T} \quad (17)$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (18)$$

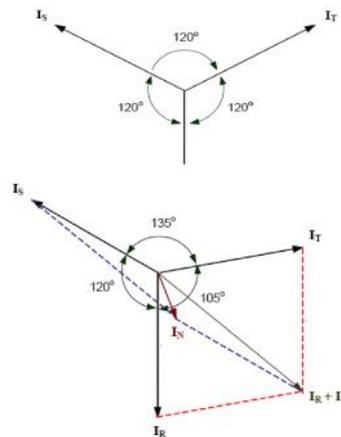


Gambar 1. Beban tak seimbang terhubung bintang empat kawat

Diagram fasor untuk beban tak seimbang dengan tiga kawat, salah satu contohnya adalah sebagai berikut :

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



Gambar 2. Diagram Fasor Beban seimbang dan beban tak Seimbang

Gambar 2(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 2(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Disini 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.

3. Hasil Dan Pembahasan

Dalam analisa berikut ini ,akan dibandingkan perhitungan *losses* pada trafo distribusi jaringan tegangan rendah (JTR) dengan kondisi beban yang tidak seimbang dengan kemiringan $> 15\%$ dengan kondisi trafo pada kondisi beban ideal serta kondisi pembebanan trafo kondisi beban yang tidak seimbang dengan kemiringan 15% dan pengukuran hanya dilakukan pada beban puncak atau jam 19.30.

3.1 Perhitungan *Losses* Beban Tidak Seimbang pada Kemiringan >15% dan 15% dengan Program Matlab.

Hasil pengukuran untuk beban ideal dapat dicari dengan menjumlahkan rata-rata ketiga arus fasa dibagi dengan 3 (tiga). Serta akan didapatkan harga arus netral untuk masing-masing tiang adalah 0 (nol). Dengan menggunakan persamaan diatas maka didapatkan hasilnya seperti pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Pengukuran

Jurusan 1

No Tiang	Panjang Jaringan (m)	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)
1	45	74.3	104.3	141.2	68.2
2	40	41.2	60.2	96	51.8
3	50	25.7	53.5	66.7	41.1
4	45	19.4	32.9	54.3	29.3
5	40	11.7	5.2	25.9	17

Jurusan 2

6	40	53.2	74.6	19.2	57.2
7	45	32.1	47.3	15.4	34.1
8	50	17.8	30.6	11.5	22.8
9	50	13.3	23.2	8.6	17.6

Jurusan 3

10	45	121.2	41.1	45.4	79.5
11	50	64.9	30.2	23.7	41.6
12	45	45.1	15.4	19.2	29.8
13	40	29.6	12.1	13.6	21.2
14	50	24.4	9.9	12.4	17.1
15	45	11.3	5.2	6.9	8.8

Ukuran tahanan setiap kabel sesuai dengan ketetapan SPLN:

Ukuran kabel fasa NFA 2X70 mm = 0,44 Ohm/km

Ukuran kabel netral NFA2X50 mm = 0,69 Ohm/km

Kapasitas tarafa 0028 = 160 kVA

Tegangan Primer = 20 kV

Tegangan Sekunder = 400 Volt

Cos { = 0.8

Jam nyala (t) / bulan = 200 jam/bulan

Rp/kWh = Rp 790/kW

Tabel 2. Hasil perhitungan *losses* beban tidak seimbang dengan kemiringan > 15% dan kondisi beban ideal

No Jrgn	Panjang (m)	Arus rata (Amp)	Persen Ketidak Sbg (%)	<i>Losses</i> Beban Tak Seimbang Phasa(KW)	N(KW)	Tot(KW)	<i>Losses</i> Seimbang (ideal) Phasa(KW)	N(KW)	Total(KW)
1	45.00	106.60	21.64	0.72	0.14	0.87	0.68	0	0.68
2	40.00	65.80	30.60	0.26	0.07	0.33	0.23	0	0.23
3	50.00	48.63	31.44	0.18	0.06	0.23	0.16	0	0.16
4	45.00	35.53	35.21	0.09	0.03	0.11	0.08	0	0.08
5	40.00	17.60	31.44	0.02	0.01	0.03	0.02	0	0.02
6	40.00	49.00	40.54	0.16	0.09	0.25	0.13	0	0.13
7	45.00	31.60	34.18	0.07	0.04	0.11	0.06	0	0.06
8	50.00	19.97	35.50	0.03	0.02	0.05	0.03	0	0.03
9	50.00	15.03	36.22	0.02	0.01	0.03	0.02	0	0.02
10	45.00	69.23	50.04	0.37	0.20	0.56	0.29	0	0.29
11	50.00	36.70	42.64	0.12	0.06	0.18	0.09	0	0.09
12	45.00	26.57	46.51	0.05	0.03	0.08	0.04	0	0.04
13	40.00	18.43	40.39	0.02	0.01	0.03	0.02	0	0.02
14	50.00	15.57	37.83	0.02	0.01	0.03	0.02	0	0.02
15	45.00	7.80	29.91	0.00	0.00	0.01	0.00	0	0.00
				0.78	2.89		1.84		

Tabel 3. Hasil Simulasi Persen Ketidakseimbangan Beban 15% dan Kondisi Beban Ideal

No Jrgn (m)	Panjang (m)	Arus rata (Amp)	Persen Ketidak Sbg (%)	Losses Beban Tak Seimbang			Losses Seimbang (ideal)		
				Phasa(KW)	N(KW)	Tot(KW)	Phasa(KW)	N(KW)	Tot(KW)
1	45.00	106.60	4.77	0.675	0.002	0.677	0.680	0	0.680
2	40.00	65.80	10.10	0.230	0.006	0.236	0.230	0	0.230
3	50.00	48.63	8.48	0.160	0.001	0.161	0.157	0	0.157
4	45.00	35.53	5.51	0.076	0.001	0.076	0.076	0	0.076
5	40.00	17.60	4.99	0.016	0.000	0.016	0.016	0	0.016
6	40.00	49.00	9.00	0.131	0.002	0.133	0.128	0	0.128
7	45.00	31.60	8.07	0.060	0.001	0.061	0.060	0	0.060
8	50.00	19.97	8.98	0.025	0.001	0.026	0.026	0	0.026
9	50.00	15.03	7.10	0.014	0.000	0.015	0.015	0	0.015
10	45.00	69.23	6.08	0.290	0.001	0.291	0.287	0	0.287
11	50.00	36.70	5.31	0.088	0.000	0.089	0.090	0	0.090
12	45.00	26.57	1.56	0.043	0.000	0.043	0.042	0	0.042
13	40.00	18.43	7.60	0.019	0.000	0.019	0.018	0	0.018
14	50.00	15.57	9.19	0.015	0.000	0.016	0.016	0	0.016
15	45.00	7.80	4.92	0.004	0.000	0.004	0.004	0	0.004
				0.015	1.862				1.844

Dari Tabel 2. terlihat dengan ketidakseimbangan > 15% losses yang terjadi di penghantar fasa dan netral cukup besar, dimana losses penghantar netral yang paling besar yaitu pada jurusan 3 atau tiang 10 dengan persen ketidak seimbangannya cukup besar yaitu 50,04% yang berakibat terhadap arus yang muncul pada penghantar netral juga cukup besar dibanding tiang yang lainnya sehingga menghasilkan losses di penghantar netral itu sendiri cukup besar yaitu 0,2 kW. Sedangkan losses yang paling besar terjadi di penghantar fasa yaitu pada jurusan 1 atau tiang 1, hal ini disebabkan oleh faktor arus fasanya, yang menghasilkan arus rata-rata sebesar 106,6 A yang mengakibatkan losses yang timbul juga paling besar yaitu 0,72 kW, hal ini disebabkan tiang 1 adalah tiang awal setelah trafo maka arusnya juga paling besar dibanding tiang-tiang lainnya. Untuk kondisi beban seimbang (ideal) memang kita lihat losses yang terjadi di penghantar netral adalah 0 (nol) karena arus netralnya juga 0 (nol), tetapi losses yang timbul pada penghantar fasa sama sekali tidak bisa dihindari karena pengaruh nilai

Tahanan (R) dari penghantar itu sendiri. Sedangkan Tabel 3 adalah hasil pemerataan beban dengan simulasi matlab dimana harga arus setiap fasa dimasukkan secara acak.

Dari tabel terlihat dengan ketidakseimbangan 15% losses yang terjadi di penghantar netral kecil sekali bahkan mendekati losses yang timbul di penghantar netral pada kondisi beban seimbang (ideal), dengan kondisi setelah pemerataan beban dengan simulasi matlab ini, losses penghantar netral yang paling tinggi timbul pada jurusan 1 tiang 2 dengan persen ketidak seimbangan sebesar 10,1%. dimana nilai ini masih dibawah standar yang diizinkan PLN yaitu sebesar 15%.

3.2. Perbandingan Losses Untuk Ketiga Kondisi Beban

Dari hasil perhitungan dapat dibuat tabel perbedaan losses untuk ketiga kondisi sebagai berikut:

Tabel 4. Losses untuk Ketiga Kondisi Beban.

Kemiringan beban	Kondisi beban	Total <i>Losses</i> per bulan		Selisih <i>Losses</i> (dibanding kondisi ideal)	
		(kWh)	(Rp)	(kWh)	(Rp)
0 %	Ideal	368	290.720	-	-
15%	Sesuai standar	372,4	294.196,-	4,4	3.476,-
> 15 %	Melebihi Standar	578	456.620,-	210	165.900,-

Dari tabel diatas, besar *losses* yang diakibatkan oleh beban yang tidak seimbang diatas 15% pada trafo 0028 dengan kapasitas 160 kVA Rayon kota barat mengakibatkan pihak PLN mengalami kerugian lebih kurang 210 kWh per bulannya atau 2520 kWh per tahunnya. Apabila dihitung dalam Rupiah maka PLN akan mengalami kerugian sebesar Rp 165.900,- per bulannya atau Rp 1.990.800,- per tahunnya.

Dan selisih beban ideal dengan beban 15% adalah : 1.862 Watt – 1.844 Watt = 18 Watt atau 0,018 kW.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Semakin tidak seimbang beban antar fasa, semakin besar pula arus yang mengalir di penghantar netral.
- Losses* pada penghantar netral yang diakibatkan oleh arus netral tertinggi timbul pada tiang 10 yaitu sebesar 0,2 kW dengan ketidakseimbangan beban 50,04%.
- Losses* pada penghantar fasa yang tertinggi timbul pada tiang 1 yaitu sebesar 0,72 kW dengan ketidakseimbangan beban 21,64%.
- Losses* pada penghantar fasa yang tidak bisa dihindari karena adanya arus mengalir pada penghantar fasa tersebut atau pada kondisi beban ideal sekalipun akan tetap menimbulkan *losses* dengan total 1,84 kW.

Daftar Acuan

- Basri, Hasan, **Sistem Distribusi Daya Listrik**, Jakarta : Press,1997.
- James J.Burke, **Power Distribution Engineering Fundamentals**

And Applications, New York: Marcel Dekker Inc., 1994.

- Machmudsyah.T, Setiadji, Isnanto.Y, **Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi**, Surabaya,Jurnal teknik Elektro,Vol 6, No.1,Maret,2006:68-73.
- Marsudi,Djiteng, **Operasi Sistem Tenaga Listrik**,Graha IlmuYogyakarta,2006.
- Kadir. A.,, **Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik**, Jakarta: UI - Press,2006.
- V.K, Mehta and Rohit Mehta, **Principles of Power System**, New Delhi, 2000.
- Zuhail, **Dasar Tenaga Listrik, Bandung: ITB**, 1991.
- Okasasmita, **Penekanan Losses Dengan Pemerataan Beban pada Trafo Distribusi**, Staff PLN Gresik,2008.
- Desmet,,Jan J. M, **Analysis of the Neutral Conductor Current in a Three-Phase Supplied Network With Nonlinear Single-Phase Loads** IEEE transactions on industry applications, vol. 39, no. 3, may/june 2003