

STUDI KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN JARINGAN TEGANGAN RENDAH

Oleh:

Joslen Sinaga ¹⁾

Yuana Hanif ²⁾

Fajri Ramadhan ³⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3)}

E-mail :

josinaga1977@gmail.com ¹⁾

yuanahanif@gmail.com ²⁾

rfazri@gmail.com ³⁾

ABSTRACT

The electric power system is a system related to the generation, distribution of electrical power to customers. The distribution system is part of the electrical power system. Electrical energy is a form of energy that is very commonly used by the wider community. The current use of electrical energy is not limited to the regions or upper class consumers, but electrical energy is also consumed by the middle and lower classes of society. The need for electric power is increasing while the availability of electricity supply is not increasing as rapidly as the demand for electric power. The emphasis on technical losses is carried out for the maintenance of the electricity network such as transformer maintenance, maintenance of electrical network equipment, and load balancing as much as possible, so that technical losses due to the network can be minimized.

Keywords: *Voltage, Power, Load, Unbalanced Load*

ABSTRAK

Sistem daya listrik merupakan sistem yang berkaitan dengan pembangkitan, penyaluran daya listrik hingga ke pelanggan. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem daya listrik. Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat umum digunakan oleh masyarakat luas. Penggunaan energi listrik saat ini, tidak terbatas pada daerah atau konsumen kelas atas, namun energi listrik juga dikonsumsi oleh masyarakat menengah dan bawah. Kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat sementara tersedianya pasokan listrik tidak meningkat pesat seperti kebutuhan akan tenaga listrik. Penekanan rugi-rugi secara teknik yang dilakukan untuk pemeliharaan jaringan listrik seperti pemeliharaan transformator, pemeliharaan peralatan jaringan listrik, dan penyeimbangan beban semaksimal mungkin, sehingga rugi-rugi teknik akibat jaringan dapat diminimalisir.

Kata Kunci : *Tegangan, Daya, Beban, Ketidak Seimbangan beban*

1. PENDAHULUAN

Dalam kondisi normal, sistem tenaga listrik mempunyai arus beban yang relatif seimbang dengan arus netral sangat kecil. Namun, kenyataannya ditemukan beberapa kasus di mana arus netral sistem menjadi sangat berlebihan, bahkan sama besarnya dengan arus fasa. Karena beban dioperasikan tidak selalu pada waktu bersamaan maka terjadi ketidakseimbangan antar fasa. Akibatnya timbul arus balik yang mengalir pada konduktor netral ke sumber yang kita kenal dengan arus netral. Arus netral ini merupakan rugi-rugi bagi penyedia tenaga listrik.

Beban tidak seimbang juga berdampak terhadap kualitas tegangan. Beban tidak seimbang menyebabkan tegangan pada konsumen yang berbeda fasa menjadi tidak seimbang. Penyedia tenaga listrik seharusnya menyediakan kualitas tegangan sesuai dengan standar. Jika tegangan melebihi atau kurang dari range tegangan standar, yakni +5% s/d -10% dari tegangan standar maka akan berdampak pada kerusakan peralatan listrik atau peralatan listrik tidak beroperasi sesuai spesifikasinya.

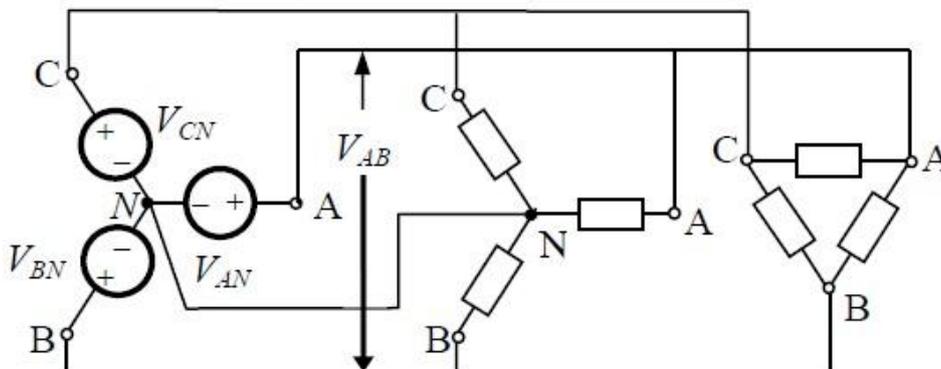
2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Daya Listrik

Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Umumnya, sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa empat kawat dipergunakan untuk memasok konsumen kelompok beban rumah tangga, perkantoran, dan perhotelan [1] Berdasarkan nilai tegangannya, sistem distribusi diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20 KV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan ini berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang-tiang saluran. Distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah, yaitu 380/220 volt. Jaringan distribusi sekunder bermula dari sisi sekunder transformator distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (meteran) pelanggan.

Sistem Tiga Fasa

Gambar 1. dibawah ini menunjukkan sumber daya dan beban tiga fasa.



Gambar 1. Sumber dan beban tiga fasa

Jika kita menggunakan tegangan fasa-netral V_{AN} sebagai referensi, maka

hubungan antara fasor-fasor tegangan tersebut adalah :

$$\bar{V}_{AN} = V_{fn} \angle 0^\circ$$

$$\bar{V}_{BN} = V_{fn} \angle -120^\circ$$

$$\bar{V}_{CN} = V_{fn} \angle -240^\circ$$

Tegangan antara fasa dengan fasa disebut tegangan fasa-fasa yaitu V_{AB} , V_{BC} dan V_{CA} yang fasor-fasornya adalah

$$\bar{V}_{AB} = \bar{V}_{AN} + \bar{V}_{NB} = \bar{V}_{AN} - \bar{V}_{BN}$$

$$\bar{V}_{BC} = \bar{V}_{BN} + \bar{V}_{NC} = \bar{V}_{BN} - \bar{V}_{CN}$$

$$\bar{V}_{CA} = \bar{V}_{CN} + \bar{V}_{NA} = \bar{V}_{CN} - \bar{V}_{AN}$$

Hubungan antara tegangan fasa-netral dan fasa-fasa adalah

$$\bar{V}_{AB} = \bar{V}_{AN} + \bar{V}_{NB} = \bar{V}_{AN} - \bar{V}_{BN}$$

$$\bar{V}_{AB} = V_{fn} \angle 0^\circ - V_{fn} \angle -120^\circ$$

$$\bar{V}_{AB} = V_{fn} (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) - V_{fn} (\cos -120^\circ + j \sin 120^\circ)$$

$$\bar{V}_{AB} = V_{fn} (1 + j0) - V_{fn} \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\bar{V}_{AB} = V_{fn} \left(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\bar{V}_{AB}$$

$$= V_{fn} \left(\sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \right) \angle \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}/2}{3/2} \right)$$

$$\bar{V}_{AB}$$

$$= V_{fn} \left(\sqrt{\left(\frac{9}{4}\right) + \left(\frac{3}{4}\right)} \right) \angle \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{3} \right)$$

$$\bar{V}_{AB} = V_{fn} \left(\sqrt{\frac{12}{4}} \right) \angle \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{3} \right)$$

$$\bar{V}_{AB} = V_{fn} \sqrt{3} \angle 30^\circ$$

Dengan cara yang sama seperti cara yang sama dapat diperoleh :

$$\bar{V}_{BC} = V_{fn} \sqrt{3} \angle -90^\circ$$

$$\bar{V}_{CA} = V_{fn} \sqrt{3} \angle -210^\circ$$

Jadi amplitudo tegangan fasa-fasa adalah $\sqrt{3}$ kali lebih besar dari amplitudo tegangan fasa-netral.

$$V_{ff} = V_{fn} \sqrt{3}$$

Sedangkan sudut fasanya berbeda 30° .

Ketidakseimbangan Beban:-

Pengertian beban seimbang

Pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat, beban dikatakan seimbang jika

- Pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besarnya.
- Perbedaan sudut tiap fasa sebesar 120° .

Pengertian Beban Tidak Seimbang

Pada sistem distribusi tiga fasa beban dikatakan tidak seimbang jika :

- Pada masing-masing fasa mengalir arus yang besarnya tidak sama tetapi perbedaan sudut sebesar 120° .
- Pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besarnya tetapi perbedaan sudutnya tidak 120° .
- Pada masing-masing fasa mengalir arus yang tidak sama besarnya dan perbedaan sudutnya tidak sebesar 120° .

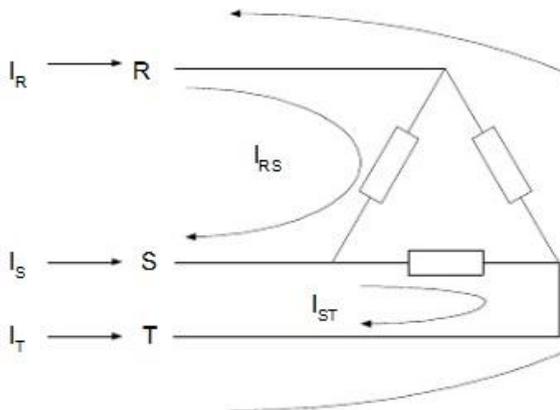
Setiap beban fasa banyak yang memiliki impedansi berbeda satu atau lebih fasa dikatakan menjadi beban tidak seimbang.

Beban tidak seimbang terhubung delta

Beban seimbang hubungan delta dipasang dari sumber 3 fasa yang seimbang. Tidak ada masalah baru karena tegangan setiap fasa beban tetap, tidak tergantung dari sifat beban dan sama dengan tegangan line. Arus fasayang berbeda dapat dihitung dengan cara biasa dan tiga arus saluran

diperoleh dengan menggunakan perbedaan vektor arus fasa berpasangan.

Penyelesaian beban tak seimbang tidak dapat disamakan dengan beban seimbang. Penyelesaiannya akan menyangkut perhitungan arus-arus fasa dan selanjutnya dengan hukum Kirchhoff akan didapatkan arus-arus saluran pada masing-masing fasa.



Gambar 2. Beban tak seimbang terhubung delta

$$I_{RS} = V_{RS} / Z_{RS}$$

$$I_{TR} = V_{TR} / Z_{TR}$$

$$I_{ST} = V_{ST} / Z_{ST}$$

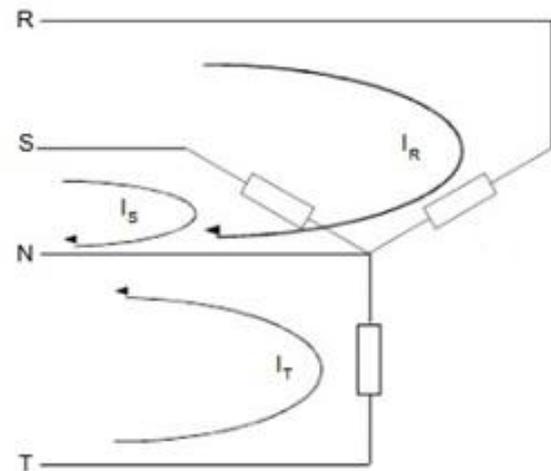
$$I_R = I_{RS} - I_{TR}$$

$$I_S = I_{ST} - I_{RS}$$

$$I_T = I_{TR} - I_{ST}$$

Beban Tidak Seimbang Empat Kawat Terhubung Bintang

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



Gambar 3. Beban tak seimbang terhubung bintang

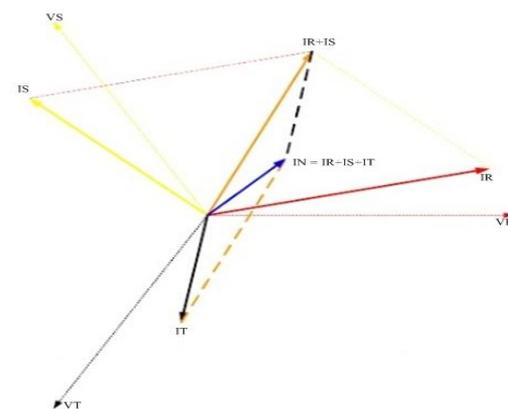
Pada sistem dengan empat kawat akan berlaku

$$I_R = I_{RN} / Z_R$$

$$I_S = I_{SN} / Z_S$$

$$I_T = I_{TN} / Z_T$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$



Gambar 4. Diagram fasor untuk beban tidak seimbang

Kawat Netral dengan Impedansi Nol

Dengan adanya kawat netral (diasumsikan impedansi nol), titik bintang dari transformator distribusi dan beban digabung bersama-sama dan berada di potensial yang sama. Oleh karena itu, tegangan di tiga impedansi

adalah sama dengan tegangan fasa sesuai transformator distribusi.

Penyaluran dan Susut Daya

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

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

dengan

$$P = \text{Daya 3 fasa pada ujung kirim}$$

$$V = \text{Tegangan 3 fasa pada ujung kirim}$$

$$\cos \varphi = \text{Faktor daya}$$

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 :

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

$$[I_T] = c [I]$$

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 :

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

Apabila daya yang besarnya sama, maka $a + b + c = 3$ di mana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$. Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a , b dan c adalah 1. Dengan

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

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

Menurut standard *International Electrotechnical Commission* (IEC) ketidak seimbangan beban yang diijinkan adalah 5%.

Rugi-rugi Pada Penghantar

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

Rugi-rugi daya pada penghantar adalah :

$$P = I^2 \cdot R$$

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

Di mana :

P_N : rugi-rugipada penghantar netral trafo (watt)

I_N : arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Tegangan Pada Pelanggan

Beban sangat berpengaruh pada kualitas energi listrik dari sistim tenaga listrik. Bila beban yang tidak seimbang maka kualitas energi listrik mengalami perubahan. Perubahan yang dimaksud termasuk ketidakseimbangan tegangan. Ketidakseimbangan tegangan disebabkan oleh ketidakseimbangan beban di mana salah satu fasa mempunyai beban yang besar pada saluran sistim 3 fasa.

Ketika terjadi pembebanan yang tidak seimbang maka akan menyebabkan terjadi juga ketidakseimbangan tegangan di mana salah satu fasa akan memiliki nilai tegangan yang lebih besar dibandingkan fasa lainnya. Demikian juga sebaliknya salah satu fasa akan memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dari standar yang telah ditentukan. Tegangan standar sistem tegangan rendah di Indonesia sesuai standar PLN yakni 220V untuk sistem satu fasa dan 220 / 380 V untuk sistem tiga fasa. Adapun toleransi tegangan pelayanan maksimal + 5 % dan minimal - 10 % dari tegangan standar. Oleh karena itu batas tegangan yang diijinkan :

- Maksimal

$$\frac{5}{100} \times 220V = 11V$$

$$\text{Tegangan maksimal} = 220V + 11V = 231V$$

- Minimal

$$\frac{10}{100} \times 220V = 22V$$

$$\text{Tegangan minimal} = 220V - 22V = 198V$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat kita ketahui bahwa range tegangan yang diijinkan adalah 198V-231V. Pada kenyataannya, ditemukan tegangan di luar batas tersebut.

3. METODE PELAKSANAAN Pembebanan Dan Rugi-Rugi Daya Data dan Hasil Pengukuran Beban

Pengukuran dilakukan pada suatu Gardu Distribusi dengan tegangan primer fasa-fasa 20 KV dan tegangan sekunder fasa-fasa 400 V. Terlihat, bahwa arus primer sebesar 2,9 A dan arus sekunder 144,3 A. Kabel yang digunakan adalah kabel incoming NYFGBY 95 mm² dan kabel outgoing 70 mm².

Pengukuran Beban Pada Waktu Beban Puncak (WBP)

Pengukuran beban dilakukan pada Waktu Beban Puncak (WBP) yang meliputi : nilai arus dari setiap fasa dari outgoing dan incoming serta faktor daya yang terjadi pada setiap fasa. Pengukuran beban dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel1. Pengukuran beban pada WBP

WBP	OUTGOING			INCOMING	
	KASUS I	KASUS II	KASUS III	Amp	%
R (Amp)	68,1	56,6	78,9	198	137
S (Amp)	54,2	41,6	56,1	153,4	106
T (Amp)	20	80,7	42,5	148,1	103
N (Amp)	47,4	46,7	47,5	105	
BEBAN (%)	33	41	41		
	Cos φ / Teg. (L-N)			BEBAN	
R	0,97/205	0,96/210	0,95/214		
S	0,94/216	0,95/212	0,94/212		
T	0,93/223	0,97/216	0,83/219		
Teg. Ujung L-	180	190	192	115,354 %	

N (volt)				
Penghantar JTR	NTFUSE 160 A AAC 35 mm ² 350 m	NTFUSE 160 A TIC 35 mm ² 300 m	NTFUSE 160 A TIC 35 mm ² 350 m	115,354 kVA

Pengukuran Beban Pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

Pengukuran beban dilakukan pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yang meliputi : nilai arus dari

setip fasa dari outgoing dan incoming serta faktor daya yang terjadi pada setiap fasa. Pengukuran beban dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Pengukuran beban pada LWBP

LWBP	OUTGOING			INCOMING	
	Kasus I	Kasus II	Kasus III	Amp	%
R (Amp)	28,6	27,8	56	117,4	81
S (Amp)	26,9	23,6	41	86	60
T (Amp)	10,62	43,7	31	88	61
N (Amp)	15,91	46,7	47	92	
BEBAN (%)	15	22	30		
	Cos φ / Teg. (L-N)				
R	0,923/209	0,92/219	0,914/218	BEBAN	
S	0,89/216	0,89/216	0,902/215		
T	0,923/221	0,92/212	0,89/221		
Teg. Ujung L-N (volt)	199	200	203	67,295 %	
Penghantar JTR	NTFUSE 160 A AAC 35 mm ² 350 m	NTFUSE 160 A TIC 35 mm ² 300 m	NTFUSE 160 A TIC 35 mm ² 350 m	67,295 kVA	

Demikian pula, parameter penghantar kabel berisolasi dipilin yaitu Twisted Insulated Cable (TIC) yang dipakai berupa ukuran kabel,

Kemampuan Hantar Arus (KHA) dan reaktansi yang terjadi pada frekuensi 50 Hertz ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Data Impedansi penghantar kabel berisolasi dipilin

Penghantar		KHA	Resistansi Penghantar (ohm/km)		Reaktansi Pada F=50 Hz (Ohm/km)
Jenis	Ukuran		Fasa	Netral	
Twisted Insulated Cable (TIC)	3x35 + 1x50 mm ²	125	0,867	0,581	0,3790
	3x50 + 1x50 mm ²	154	0,641	0,581	0,3678
	3x70 + 1x50 mm ²	196	0,443	0,581	0,3572
	3x95 + 1x50 mm ²	242	0,308	0,581	0,3449

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa

Perhitungan ketidak seimbangan beban

Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada WBP

Untuk analisa pembebanan dan rugi-rugi daya, diperlukan data – data pendukung antara lain hasil ukur beban, data karakteristik kabel aluminium berisolasi dipilin, data karakteristik kabel AAAC dan data pengukuran beban pada gardu distribusi. Data hasil ukur beban digunakan sebagai acuan untuk mencari dan menentukan gardu yang memiliki beban tidak merata.

Pada umumnya beban yang tidak merata dapat diindikasikan dengan mudah, dengan melihat hasil pengukuran arus netral. Apabila diperoleh data arus netral yang lebih besar dari arus fasa atau sama dengan arus fasa, maka gardu tersebut patut dicurigai memiliki beban yang tidak seimbang. Indikasi beban tidak seimbang dapat pula dilihat dari besar arus di masing–masing fasa (R-S-T) memiliki perbedaan arus yang besar. Oleh karena itu, penulis melakukan pengukuran beban pada gardu distribusi, baik waktu beban puncak maupun luar waktu beban puncak untuk menentukan gardu distribusi yang akan dijadikan sampel, untuk selanjutnya dianalisis.

Berdasarkan hasil pengukuran, gardu distribusi memiliki pembebanan yang tidak seimbang. Beban tidak seimbang ditunjukkan dengan besarnya selisih arus pada masing-masing fasa. Pada Kasus ini, dapat dilihat hasil pengukuran beban waktu beban puncak (WBP) pada Tabel1.

Berdasarkan teori, tidak ada arus yang mengalir pada penghantar netral jika beban seimbang. Namun, pada kenyataannya tidak ditemukan gardu distribusi yang jumlah beban akan sama persis pada masing-masing fasa, yaitu fasa R, S dan T. Hal ini terjadi karena umumnya pelanggan di Indonesia

merupakan pelanggan satu fasa, di mana pelanggan menggunakan energi listrik tidak pada saat bersamaan, sehingga tidak mungkin beban pada fasa R sama besarnya dengan fasa S dan fasa T. Perbedaan beban pada ketiga fasa dinamakan beban tidak seimbang. Dengan adanya beban tidak seimbang ini akan muncul arus netral. Di mana arus netral ini akan semakin besarnya nilainya jika ketidakseimbangan semakin besar.

Arus rata-rata pada malam hari / WBP

$$\begin{aligned} I_{\text{rata-rata malam}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ I_{\text{rata-rata malam}} &= \frac{68,1 + 54,2 + 20}{3} \\ &= \frac{142,3}{3} \\ &= 47,433 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_R = a \cdot I \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} = \frac{68,1}{47,433} = 1,435$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka } b = \frac{I_S}{I} = \frac{54,2}{47,433} = 1,145$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka } c = \frac{I_T}{I} = \frac{20}{47,433} = 0,421$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,435-1| + |1,145-1| + |0,421-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{0,435 + |0,145| + |-0,579|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{1,159}{3} \times 100\% = 38,633\% \end{aligned}$$

Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada LWBP

Berdasarkan hasil pengukuran, beban pada fasa R dan fasa S tidak jauh berbeda. Namun, pada jurusan ini ditemukan besarnya beban pada fasa T

jauh berbeda dengan fasa R dan fasa S. Dengan demikian, ditemukan adanya arus netral di mana nilai arus netral melebihi arus pada fasa T. Setelah melakukan pengukuran beban, penulis menganalisis persentase ketidakseimbangan seperti berikut.

Sesuai hasil pengukuran beban, arus rata-rata pada LWBP dihitung sebagai berikut :

Arus rata-rata pada siang hari / LWBP

$$\begin{aligned} I_{\text{rata-rata siang}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ I_{\text{rata-rata siang}} &= \frac{28,6 + 26,9 + 10,62}{3} \\ &= \frac{66,12}{3} \\ &= 22,04 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan koefisien a, b, dan c yang dapat diketahui besarnya, di mana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata-rata}).

$$I_R = a \cdot I \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} = \frac{28,6}{22,04} = 1,297$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka } b = \frac{I_S}{I} = \frac{26,9}{22,04} = 1,220$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka } c = \frac{I_T}{I} = \frac{10,62}{22,04} = 0,481$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,297-1| + |1,22-1| + |0,481-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,297| + |0,22| + |-0,519|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{1,036}{3} \times 100\% = 34,533\% \end{aligned}$$

5. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Arus yang mengalir pada penghantar netral terjadi karena adanya ketidakseimbangan beban.
2. Ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap rugi-rugi, tegangan dan peralatan pelanggan.
3. Semakin besar persentase ketidakseimbangan beban, semakin besar pula rugi-rugi yang timbul.

Saran

1. Untuk mengetahui beban tidak seimbang sebaiknya dilakukan pengukuran beban pada gardu distribusi secara periodik misalnya sekali dalam tiga bulan.
2. Untuk mengurangi rugi-rugi yang diakibatkan beban tidak seimbang hendaknya dilakukan penyeimbangan beban dan perbaikan sambungan netral.
3. Jika ada sambungan baru (khususnya pelanggan 1 fasa) sebaiknya disambungkan dengan fasa yang bebannya lebih rendah.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Janter N.(2015). Tinjauan Sistem Instalasi Listrik Bangunan Hotel. Kasus Grand Angkasa International Hotel Medan, Jurnal Sains dan Teknologi ISTP, ISSN : 2356-0878(2).
2. Abdul Kadir. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta : UI - Press, 2000.
3. Ahmad Deni Mulyadi. (2011). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Rugi Daya Saluran Netral Jaringan Tegangan Rendah*. MeTriK Polban.
4. B. L. Theraja dan A. K. Theraja. *Electrical Technology*. S. Chand.

5. Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi. *SPLN 1: 1995 – Tegangan-Tegangan Standar*. Penerbit PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 1995.
6. Mohammad Dahlan. *Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi*.
7. Mohamad Ramdhani. 2008. *Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga.
8. Peraturan Menteri No. 30 Tahun 2012. *Tarif Tenaga Listrik*.
9. Sudaryatno Sudirham. *Analisis Rangkaian Listrik*.