

ANALISIS RUGI – RUGI DAYA (*LOSSES*) AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV RAYON BANTUL

Hafidz Wahyu

Program Studi S-1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

E-mail : hafidzwahyu17@gmail.com

Intisari

Ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi terjadi disebabkan karena perbedaan arus yang mengalir pada masing – masing kabel fasa (R, S dan T) hal ini dikarenakan jumlah dan waktu pemakaian beban listrik pada pelanggan 1 fasa yang berbeda – beda. Ketidakseimbangan beban akan menyebabkan timbulnya arus pada kabel netral. Arus netral yang mengalir pada kabel netral mengakibatkan adanya rugi – rugi daya (*losses*) arus netral. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui berapa arus netral dan rugi – rugi daya yang diakibatkan ketidakseimbangan beban pada masing – masing penyulang di jaringan distribusi 20 kV Rayon Bantul. Analisis dilakukan dengan menghitung arus netral yang ditimbulkan dari beban 3 fasa yang tidak seimbang yang kemudian nilai arus tersebut digunakan untuk menghitung rugi – rugi daya (*losses*) arus netral selama kurun waktu 3 bulan. Dari perhitungan tersebut diketahui bahwa penyulang yang memiliki tingkat kerugian tertinggi akibat adanya arus netral yang ditimbulkan ketidakseimbangan beban adalah pada penyulang BNL 11 yaitu dengan total *losses* pada jam 10.00 sebesar 3.255.703,95 watt dan pada jam 19.00 sebesar 10.445.998,91 watt.

Kata kunci : Ketidakseimbangan beban, Arus Netral, *Losses*

I. PENDAHULUAN

Dalam sistem jaringan distribusi, salah satu peralatan yang digunakan adalah Transformator Distribusi 3 Fasa. Trafo distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 220 V sehingga tegangan tersebut dapat dipakai oleh pelanggan pada jaringan tegangan rendah seperti rumah tangga, lampu jalan, sekolah, dan lain-lain.

Pada jaringan distribusi tegangan menengah area Yogyakarta menggunakan sistem jaringan 4 kawat yaitu kabel fasa R, fasa S, fasa T dan Netral, kemudian di salurkan lagi ke jaringan distribusi tegangan rendah dengan 2 kabel yaitu salah satu kabel fasa (R, S atau T) dan Netral. Setelah itu akan mendistribusikan listrik ke pelanggan/beban satu fasa. Dengan jenis beban, jumlah daya dan waktu pemakaian beban yang berbeda - beda pada setiap pelanggan, akan menyebabkan ketidakseimbangan beban antar fasa. Ketidakseimbangan beban terjadi dikarenakan fasa R, S dan T tidak sama tegangan atau arusnya, jika ketiga fasa tersebut bebannya sama, maka arus pada kawat netral (N) akan sama dengan nol, akan tetapi bila arus atau tegangan pada ketiga fasa R, S dan T tidak sama maka akan timbul arus pada netral. Hal ini akan menimbulkan rugi - rugi daya (*losses*) akibat adanya arus netral.

Rugi – rugi daya (*losses*) merupakan suatu kerugian energi yang diakibatkan masalah teknis dan non teknis. Untuk masalah teknis penyebabnya ialah adanya impedansi pada peralatan pembangkitan dan penyaluran transmisi maupun distribusi sehingga terjadi hilangnya energi yang berupa panas, selain itu juga disebabkan ketidakseimbangan beban pada tiap fasa yang

mengakibatkan adanya arus netral yang menimbulkan rugi – rugi netral. Sedangkan rugi – rugi non teknis adalah hilangnya energi akibat pemakaian yang tidak sah seperti pencurian listrik.

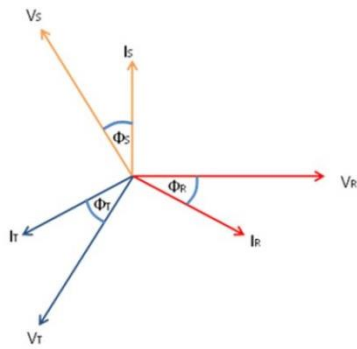
Pada jaringan distribusi rayon bantul, suplai daya berasal dari gardu induk bantul, dimana memiliki 3 transformator daya dengan 18 penyulang (*feeder*). Pada salah satu *feeder* pada gardu induk bantul yaitu *feeder* BNL 14 dimana *feeder* tersebut mensuplai listrik ke daerah wonolelo, cinomati, dlingo dan sekitarnya, pernah mengalami trip pada jaringan yang diakibatkan arus netral yang melewati batas settingan relay proteksi. Hal tersebut terjadi dikarenakan ketidakseimbangan beban yang terjadi terlalu tinggi.

II. TEORI PENUNJANG

2.1 Sistem Tiga Fasa

Sistem 3 fasa merupakan salah satu tipe dari sistem polifasa (fasa banyak), metode ini yang umum dipakai untuk menyalurkan energi listrik. Pada sistem 3 fasa dapat menggunakan 4 kawat dengan 3 kawat fasa dan 1 kawat netral kawat netral maupun 3 kawat yang tanpa kawat netral. Ketiga kawat fasa tersebut biasanya diberi kode R, S, dan T. Dalam keadaan beban seimbang, masing – masing kawat fasa memiliki tegangan dan arus yang sama sehingga jika dilihat dari segi diagram fasor ketiga vektor fasanya akan memiliki keadaan di mana :

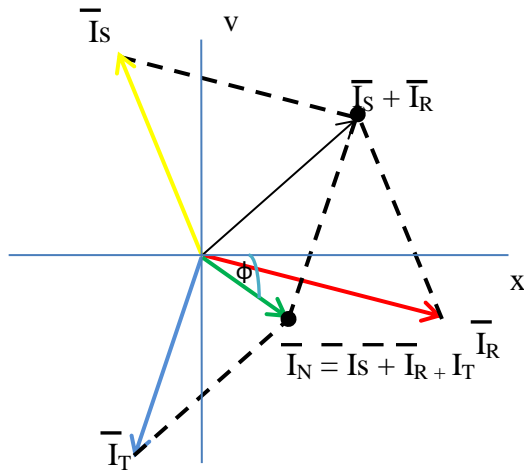
- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga fasa memiliki $\cos \phi$ yang sama besar.



Gambar 2.1 Diagram fasor 3 fasa keadaan beban seimbang

2.2 Ketidakseimbangan Beban pada Sistem Distribusi

Ketidakseimbangan beban adalah keadaan saat nilai tegangan dan arus yang mengalir pada ketiga kawat fasa pada sistem 3 fasa tidak sama. Hal ini terjadi dikarenakan jumlah penggunaan daya, dan waktu pemakaian yang berbeda – beda pada pelanggan 1 fasa sehingga menyebabkan beban yang ditanggung pada tiap fasanya menjadi berbeda – beda. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada sistem akan menyebabkan timbulnya arus pada penghantar netral yang seharusnya nol.

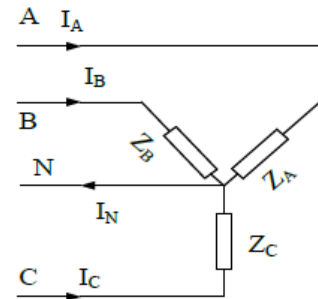


Gambar 2.2 Diagram fasor 3 fasa keadaan beban tidak seimbang

Pada Gambar 2.9 merupakan contoh diagram vektor saat arus tidak seimbang. Arah vektor berubah – ubah dikarenakan pengaruh beban yang bersifat resistif dan induktif pada pelanggan. Sehingga ketika beban tidak seimbang persamaannya adalah

$$\begin{aligned} \overline{I_R} + \overline{I_S} + \overline{I_T} &\neq 0 \\ \overline{I_N} &\neq 0 \end{aligned}$$

Untuk menghitung arus netral yang timbul akibat beban yang tidak seimbang dapat menggunakan rumus matematis berikut:



Gambar 2.3 Sambungan Y pada transformator

$$I_A = \frac{V_A}{Z_A} \quad I_B = \frac{V_B}{Z_B} \quad I_C = \frac{V_C}{Z_C}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} I_N &= I_A + I_B + I_C \\ I_N &= I_A \angle \phi_1 + I_B \angle \phi_2 + I_C \angle \phi_3 \quad (2.9) \end{aligned}$$

Dimana :

- V_A, V_B, V_C = Tegangan tiap fasa (V)
- Z_A, Z_B, Z_C = Impedansi tiap fasa (Ω)
- I_N = Arus netral (A)
- I_A, I_B, I_C = Arus tiap fasa (A)
- $\angle \phi_1, \angle \phi_2, \angle \phi_3$ = Sudut tiap fasa

2.3 Rugi – rugi Daya (Losses) pada Penghantar Netral

Untuk menghitung rugi –rugi daya (losses) pada penghantar netral dapat menggunakan rumus:

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

Dimana :

- P_N = losses pada penghantar netral (watt)
- I_N = arus yang mengalir pada netral (A)
- R_N = tahanan penghantar netral (Ω)

2.4 Rugi – rugi Energi

Untuk mengetahui rugi – rugi energi dapat dihitung dengan mengalikan rugi –rugi daya dengan waktu 24 jam dan 30 hari sehingga dapat ditulis persamaan untuk rugi – rugi energi selama 1 bulan yaitu :

$$\begin{aligned} W &= P \times t \\ W &= P \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \end{aligned}$$

Dimana

- W = rugi –rugi energi 1 bulan (Wh)
- P = rugi –rugi daya (watt)
- t = waktu

Akan tetapi untuk menghitung rugi – rugi energi tidak dapat dilakukan secara akurat karena sifat beban pelanggan yang fluktuatif. Umumnya beban pelanggan dikelompokkan ke dalam 2 zona waktu

yaitu waktu beban puncak (WBP) dan waktu luar beban puncak (WLBP). Sehingga untuk menghitung rugi – rugi energi selama 1 bulan dapat menggunakan rumus :

$$W = \frac{(\text{Losses WBP} \times n1 \text{ jam}) + (\text{Losses WLBP} \times n2 \text{ jam})}{1000} \times 30 \text{ hari}$$

Dimana :

W = rugi – rugi energi 1 bulan (kWh)

n1 = jumlah jam WBP (Waktu beban puncak) (jam)

n2 = jumlah jam WLBP (Waktu luar beban puncak) (jam)

2.5 Keseimbangan Beban 3 Fasa

Keseimbangan beban pada jaringan 3 fasa dapat terjadi apabila mempunyai beban yang sama. Untuk mencari titik keseimbangan pada jaringan tiga fasa dapat menggunakan rumus matematika linear yaitu nilai *mean* dengan rumus :

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + X_n) / n$$

Dimana :

\bar{X} = arus rata – rata (A)

X = arus masing – masing fasa (A)

n = jumlah fasa

Dari perhitungan tersebut akan diperoleh nilai yang harus dipindah atau diterima pada tiap fasa dengan menghitung

$I_R - \Sigma X = I_{\text{lepas/terima}}$ (yang harus dilepas atau ditambahkan pada fasa R)

$I_S - \Sigma X = I_{\text{lepas/terima}}$ (yang harus dilepas atau ditambahkan pada fasa S)

$I_T - \Sigma X = I_{\text{lepas/terima}}$ (yang harus dilepas atau ditambahkan pada fasa T)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data penghantar Netral

Kabel AAAC 1x150 mm²

Nilai tahanan : 0,210 Ω/km

Tabel 3.1 Data panjang kabel netral pada jaringan tegangan menengah rayon Bantul.

Penyulang	Panjang (kms)
BNL01	7,23
BNL02	4,91
BNL03	7,01
BNL05	11,56
BNL14	30,79
BNL17	9,13
BNL04	2,76
BNL11	82,74
BNL12	113,07
BNL16	2,76
BNL18	11,03

BNL06	81,54
BNL07	194,98
BNL08	0,10
BNL09	0,10
BNL10	3,18
BNL13	7,60
BNL15	6,00

Tabel 3.2 Data pembebanan tanggal 1 oktober 2017

Feeder	Beban Penyulang bulan Oktober					
	JAM 10:00			JAM 19:00		
	R (A)	S (A)	T (A)	R (A)	S (A)	T (A)
BNL14	145,4	160,3	133,0	223,8	252,5	199,5
BNL01	129,6	117,1	121,8	163,2	140,2	152,3
BNL02	191,8	204,0	214,2	198,9	214,4	233,3
BNL03	197,9	194,1	189,4	234,4	234,4	217,9
BNL05	190,4	139,4	195,0	244,0	178,6	255,4
BNL17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
BNL04	150,0	130,0	130,0	196,0	163,0	165,0
BNL11	174,0	127,0	173,0	266,0	184,0	266,0
BNL12	150,0	134,0	167,0	244,0	214,0	268,0
BNL16	231,0	150,0	178,0	321,0	206,0	256,0
BNL18	114,0	64,0	100,0	174,0	86,0	147,0
BNL06	149,0	167,0	174,0	239,0	276,0	270,0
BNL07	159,0	182,0	158,0	214,0	250,0	204,0
BNL08	152,0	137,0	153,0	213,0	196,0	217,0
BNL09	61,0	51,0	56,0	78,0	67,0	74,0
BNL10	0,0	2,0	8,0	34,0	40,0	43,0
BNL13	31,0	33,0	31,0	28,0	30,0	29,0
BNL15	32,0	25,0	26,0	30,0	21,0	23,0

3.2 Analisis Persentase Ketidakseimbangan Beban

1. Persentase ketidakseimbangan beban pada waktu luar beban puncak (WLBP)

Berdasarkan data pengukuran pada tabel 4.3 dapat dihitung nilai arus rata – rata ketiga fasa pada jam 10.00 yaitu :

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

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{145,4 + 160,3 + 133,0}{3} = 146,24 \text{ Ampere}$$

Dengan menggunakan persamaan ketidakseimbangan pada bab 2, besar nilai koefisien a, b dan c dapat diketahui, dimana nilai arus fasa dalam keadaan seimbang sama dengan nilai arus rata – rata nya.

Fasa R

$$I_R = a \times I_{\text{rata-rata}}, \text{ maka } a = I_R / I_{\text{rata-rata}}$$

$$a = \frac{145,4}{146,24}$$

$$a = 0,99$$

Fasa S

$$I_S = b \times I_{\text{rata-rata}}, \text{ maka } b = I_S / I_{\text{rata-rata}}$$

$$b = \frac{160,3}{146,24}$$

$$b = 1,10$$

Fasa T

$$I_T = c \times I_{\text{rata-rata}}, \text{ maka } c = I_T / I_{\text{rata-rata}}$$

$$c = \frac{133,0}{146,24}$$

$$c = 0,91$$

Pada kondisi beban seimbang, nilai dari koefisien a, b dan c adalah 1, sehingga nilai rata – rata ketidakseimbangan beban adalah

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

$$I_{\text{Tidak seimbang}} (\%) = \frac{\{|0,99-1|+|1,10-1|+|0,91-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$I_{\text{Tidak seimbang}} (\%) = 6,42 \%$$

2. Persentase ketidakseimbangan beban pada waktu luar beban puncak (WBP)

Berdasarkan data pengukuran pada tabel 4.3 dapat dihitung nilai arus rata – rata ketiga fasa pada jam 19.00 yaitu :

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

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{223,8+252,5+199,5}{3} = 225,28 \text{ Ampere}$$

Dengan menggunakan persamaan ketidakseimbangan pada bab 2, besar nilai koefisien a, b dan c dapat diketahui, dimana nilai arus fasa dalam keadaan seimbang sama dengan nilai arus rata – rata nya

Fasa R

$$I_R = a \times I_{\text{rata-rata}}, \text{ maka } a = I_R / I_{\text{rata-rata}}$$

$$a = \frac{223,8}{225,28}$$

$$a = 0,99$$

Fasa S

$$I_S = b \times I_{\text{rata-rata}}, \text{ maka } b = I_S / I_{\text{rata-rata}}$$

$$b = \frac{252,5}{225,28}$$

$$b = 1,12$$

Fasa T

$$I_T = c \times I_{\text{rata-rata}}, \text{ maka } c = I_T / I_{\text{rata-rata}}$$

$$c = \frac{199,5}{225,28}$$

$$c = 0,89$$

Pada kondisi beban seimbang, nilai dari koefisien a, b dan c adalah 1, sehingga nilai rata – rata ketidakseimbangan beban adalah

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

$$I_{\text{Tidak seimbang}} (\%) = \frac{\{|0,99-1|+|1,12-1|+|0,89-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$I_{\text{Tidak seimbang}} (\%) = 8,05 \%$$

Tabel 3.3 Persentase ketidakseimbangan beban pada tanggal 1 Oktober 2017

Feeder	I rata - rata (A)		% Ketidakseimbangan beban	
	10:00	19:00	10:00	19:00
BNL14	146,24	225,28	6,42%	8,05%
BNL01	122,83	151,89	3,68%	5,15%
BNL02	203,36	215,52	3,78%	5,49%
BNL03	193,81	228,91	1,50%	3,20%
BNL05	174,93	225,97	13,56%	13,99%
BNL17	1,00	1,00	0,00%	0,00%
BNL04	136,67	174,67	6,50%	8,14%
BNL11	158,00	238,67	13,08%	15,27%
BNL12	150,33	242,00	7,39%	7,71%
BNL16	186,33	261,00	15,98%	15,33%
BNL18	92,67	135,67	20,62%	24,41%
BNL06	163,33	261,67	5,85%	5,77%
BNL07	166,33	222,67	6,28%	8,18%
BNL08	147,33	208,67	4,68%	4,05%
BNL09	56,00	73,00	5,95%	5,48%
BNL10	3,33	39,00	93,33%	8,55%
BNL13	31,67	29,00	2,81%	2,30%
BNL15	27,67	24,67	10,44%	14,41%

3.3 Analisis Nilai Arus Netral

1. Arus Netral Pada Waktu Luar Beban Puncak (WLBP)

Nilai $\cos \phi$ untuk fasa R, S dan T diasumsikan 0,98

$$\text{Fasa R : } \Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$$

$$\text{maka } I_R = 145,4 \angle -11,48^\circ \text{ A}$$

$$\text{Fasa S : } \Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$$

$$\text{maka } I_S = 160,3 \angle -11,48^\circ - 120^\circ \text{ A}$$

$$\text{Fasa S : } \Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$$

$$\text{maka } I_T = 133,0 \angle -11,48^\circ + 120^\circ \text{ A}$$

$$I_N + I_R + I_S + I_T = 0$$

$$-I_N = I_R \angle \phi_1 + I_S \angle \phi_2 + I_T \angle \phi_3$$

$$-I_N = 145,4 \angle (-11,48^\circ) + 160,3 \angle (131,48^\circ) + 133,0 \angle 108,52^\circ$$

$$-I_N = (142,49 - j28,93) + (-106,18 - j120,1) + (-42,24 + j126,11)$$

$$-I_N = -5,93 - j 22,92$$

$$I_N = 5,93 + j 22,92$$

$$I_N = 23,67 \angle 75,5^\circ$$

Jadi, nilai arus netralnya adalah 23,67 A dengan sudut $75,5^\circ$

2. Arus Netral Pada Waktu Beban Puncak (WBP)

Nilai $\cos \phi$ untuk fasa R, S dan T diasumsikan 0,98

Fasa R : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$

maka $I_R = 223,8 \angle -11,48^\circ$ A

Fasa S : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$

maka $I_S = 252,5 \angle -11,48^\circ - 120^\circ$ A

Fasa T : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$

maka $I_T = 199,5 \angle -11,48^\circ + 120^\circ$ A

$$I_N + I_R + I_S + I_T = 0$$

$$-I_N = I_R + I_S + I_T$$

$$-I_N = I_R \angle \phi_1 + I_S \angle \phi_2 + I_T \angle \phi_3$$

$$-I_N = 223,8 \angle (-11,48^\circ) + 252,5 \angle (-131,48^\circ)$$

$$+ 199,5 \angle 108,52^\circ$$

$$-I_N = (234,34 - j47,6) + (-167,24 - j189,2)$$

$$+ (-63,37 + j189,2)$$

$$-I_N = 3,73 - j47,6$$

$$I_N = -3,73 + j47,6$$

$$I_N = 47,74 \angle 94,48^\circ$$

Jadi, nilai arus netralnya adalah 47,74A dengan sudut $94,48^\circ$.

Dengan cara perhitungan yang sama maka dapat diperoleh nilai arus netral pada penyulang lainnya untuk pembebanan tanggal 1 Oktober 2017 yang terdapat pada tabel 4.6.

3.4 Nilai arus netral pada tanggal 1 Oktober 2017

Feeder	I netral (A)	
	10:00	19:00
BNL14	23,67	45,92
BNL01	10,93	19,96
BNL02	19,42	29,84
BNL03	7,35	16,48
BNL05	53,51	71,80
BNL17	0,00	0,00
BNL04	20,00	32,05
BNL11	46,51	82,00
BNL12	28,58	46,86
BNL16	71,25	99,87
BNL18	44,68	78,08
BNL06	22,34	34,39
BNL07	23,52	41,90
BNL08	15,52	19,31
BNL09	8,66	9,64
BNL10	7,21	7,94
BNL13	2,00	1,73
BNL15	6,56	8,19

Tabel 3.5 Rekap nilai arus netral tertinggi pada penyulang gardu induk bantu selama bulan Oktober, November dan Desember tahun 2017

Jam	Tanggal	Feeder	R (A)	S (A)	T (A)	I_N (A)
10.00	3 Oktober	BNL 11	270	189	256	74,98
	27 November	BNL 18	192	115	190	76,02
	9 Desember	BNL 16	303	208	269	83,37
19.00	29 Oktober	BNL 16	328	205	257	106,94
	30 November	BNL 11	324	214	337	117,04
	7 Desember	BNL 16	367	218	313	130,6

3.4 Rugi – Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban

Rugi – rugi daya pada jam 10.00 (WLBP)

$$\text{BNL 14 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L$$

$$= 23,67^2 \text{ A} \times 0,210 \Omega/\text{km} \times 30,79 \text{ km}$$

$$= 3.639,97 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 3.639,97 \text{ watt} \times 19 \text{ jam}/1000 = 69,16 \text{ kWh}$$

Rugi – rugi daya pada jam 19.00 (WBP)

$$\text{BNL 14 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L$$

$$= 45,92^2 \text{ A} \times 0,210 \Omega/\text{km} \times 30,79 \text{ km}$$

$$= 13.633,62 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 13.633,62 \text{ watt} \times 5 \text{ jam}/1000 = 68,17 \text{ kWh}$$

Tabel 3.6 Hasil perhitungan rugi – rugi daya dan rugi energi pada tanggal 1 Oktober 2017.

Feeder	I_N (A)		Rugi – rugi daya (watt)		Rugi – rugi energi (kWh)	
	10:00	19:00	10:00	19:00	WLBP (19 jam)	WBP (5 jam)
BNL01	10,93	19,96	181,24	605,10	3,44	3,03
BNL02	19,42	29,84	388,97	918,03	7,39	4,59
BNL03	7,35	16,48	79,63	399,81	1,51	2,00
BNL05	53,51	71,80	6.951,28	12.513,89	132,07	62,57
BNL14	23,72	45,92	3.639,97	13.633,62	69,16	68,17
BNL17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BNL04	20,00	32,05	231,67	594,82	4,40	2,97
BNL11	46,51	82,00	37.584,66	116.837,38	714,11	584,19
BNL12	28,58	46,86	19.399,42	52.143,36	368,59	260,72
BNL16	71,25	99,87	2.940,50	5.777,32	55,87	28,89
BNL18	44,68	78,08	4.624,38	14.125,68	87,86	70,63
BNL06	22,34	34,39	8.544,67	20.257,20	162,35	101,29
BNL07	23,52	41,90	22.643,03	71.900,82	430,22	359,50

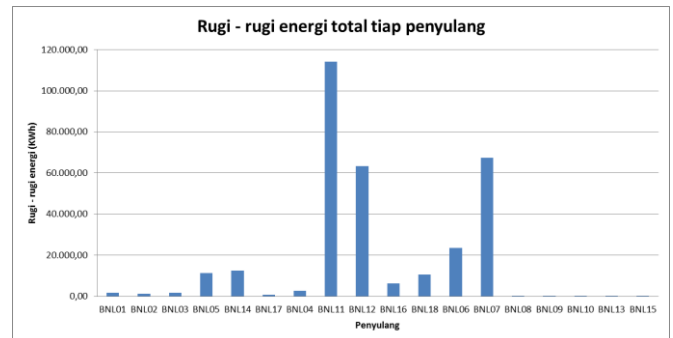
BNL08	15,52	19,31	5,06	7,83	0,10	0,04
BNL09	8,66	9,64	1,57	1,95	0,03	0,01
BNL10	7,21	7,94	34,73	42,07	0,66	0,21
BNL13	2,00	1,73	6,38	4,79	0,12	0,02
BNL15	6,56	8,19	54,18	84,42	1,03	0,42

Dengan menjumlahkan rugi – rugi daya selama satu bulan untuk masing – masing penyulang dan zona waktu maka diperoleh hasil berikut

Tabel 3.7 Rugi – rugi energi total selama bulan Oktober, November dan Desember tahun 2017

Feeder	Oktober		November		Desember	
	WLBP (kWh)	WBP (kWh)	WLBP (kWh)	WBP (kWh)	WLBP (kWh)	WBP (kWh)
BNL01	507,83	113,4	368,01	79,38	348,53	161,93
BNL02	342,3	140,02	211,56	107,43	204,67	86,62
BNL03	347,25	140,15	488,09	143,77	417,29	123,21
BNL05	3.186,28	2.028,28	2.428,3	1.579,41	1.149,24	786,11
BNL14	1.723,28	1.988,2	1.690,97	1.872,79	2.430,87	2.827,47
BNL17	98,93	98,37	10,17	7,26	262,58	227,25
BNL04	445,25	249,52	964,77	470,97	340,22	149,27
BNL11	18.803,54	16.248,89	18.628,56	16.006,32	24.426,28	19.974,78
BNL12	10.061,98	10.982,28	9.307,21	8.275,74	13.105,89	11.651,88
BNL16	1.073,42	682,89	1.237,73	838,29	1.479,38	981,76
BNL18	2.582,55	2.090,04	2.255,48	1.783,98	1.224,54	712,15
BNL06	8.320,78	3.270	5.217,28	2.363,31	3.242,74	1.055,75
BNL07	16.749,7	19.482,83	11.685,11	9.716,03	5.822,33	3.889,65
BNL08	6,3	1,44	5,81	1,28	1,9	0,54
BNL09	1,77	0,35	1,45	0,33	0,87	0,20
BNL10	10,89	6,84	10,81	6,01	4,57	2,49
BNL13	4,18	1,41	12,01	3,75	5,79	2,00
BNL15	29,52	15,54	60,14	21,85	20,49	11,54
Total per bulan	64.295,74	57.540,47	54.583,48	43.277,9	54.488,18	42.644,61
	121.836,21		97.861,37		97.132,79	

Grafik 3.1 Rugi – rugi energi (W) total tiap penyulang selama 3 bulan



3.5 Kerugian Akibat Ketidakseimbangan Beban

Bulan Oktober

$$\begin{aligned} \text{WLBP} &= \text{Rugi energi WLBP(kWh)} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= 64.295,74 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= \text{Rp } 66.596.241,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WBP} &= K \times \text{Rugi energi WBP (kWh)} \\ &\times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= 1,4 \times 57.540,47 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= \text{Rp } 83.438.972,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka kerugian bulan Oktober} &= \text{Rp } 66.596.241,- + \text{Rp } 83.438.972,- \\ &= \text{Rp } 150.035.213,- \end{aligned}$$

Tabel 3.8 Nilai rugi – rugi energi dan kerugian finansial

Bulan	Rugi – rugi energi (kWh)		Kerugian
	WLBP	WBP	
Oktober	64.295,74	57.540,47	Rp150.035.213,-
November	54.583,48	43.277,90	Rp119.293.404,-
Desember	54.488,18	42.644,61	Rp118.276.376,-
TOTAL	316.830,37 kWh		Rp387.604.993,-

3.6 Perbandingan Rugi – rugi Energi Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Susut Energi Total

Bulan Oktober

$$\begin{aligned} \text{Susut energi total bulan Oktober} &= \text{kWh Siap Jual} - \text{Kwh Jual} - \text{Pemakaian sendiri} \\ &= 28.837.906,40 - 25.866.768,00 - 7952,616 \\ &= 2.963.185,78 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Perbandingan susut energi akibat arus netral terhadap susut energi total selama bulan Oktober

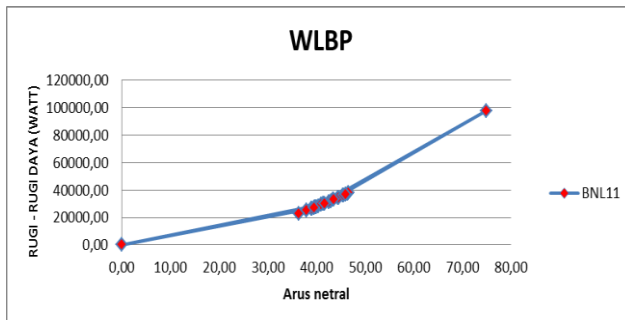
$$\begin{aligned} & \% \text{ Rugi energi terhadap susut total} \\ &= \frac{\text{Rugi - rugi energi 1 bulan (kWh)}}{\text{Susut energi total (kWh)}} \times 100 \% \\ &= \frac{121.836,21}{2.963.185,78} \times 100\% = 4,11 \% \end{aligned}$$

Tabel 3.9 Perbandingan rugi – rugi energi akibat ketidakseimbangan beban terhadap susut energi total PLN.

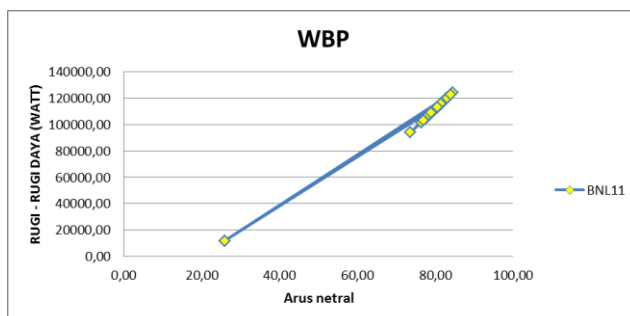
Bulan	Susut Total PLN (kWh)	Rugi energi ketidakseimbangan beban (kWh)	% Rugi energi ketidakseimbangan beban
Oktober	2.963.185,78	121.836,21	4,11
November	1.663.247,39	97.861,38	5,88
Desember	2.726.126,68	97.132,79	3,56

3.7 Analisis Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi – Rugi Daya

Grafik 3.2 Hubungan arus netral dengan rugi – rugi daya pada penyulang BNL 11 bulan Oktober waktu luar beban puncak



Grafik 3.3 Hubungan arus netral dengan rugi – rugi daya pada penyulang BNL 11 bulan Oktober waktu beban puncak



3.8 Analisis Nilai Keseimbangan Beban

Contoh perhitungan penyeimbangan beban berikut ini menggunakan data pengukuran penyulang BNL 11 tanggal 3 Oktober waktu luar beban puncak (WLBP)

$$\begin{aligned} \bar{X} &= (X_1 + X_2 + X_3) / n \\ &= I_R + I_S + I_T / 3 \\ &= 270 + 189 + 256 / 3 \\ &= 238,34 \approx 238 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi untuk mencapai titik keseimbangan:

$$\text{Fasa R} : 270 - 238 = 32 \text{ A}$$

(memindahkan beban sebesar 32 A)

$$\text{Fasa S} : 189 - 238 = -49 \text{ A}$$

(menerima tambahan beban sebesar 49 A)

$$\text{Fasa T} : 256 - 238 = 18 \text{ A}$$

(memindahkan beban sebesar 18 A)

Tabel 3.10 Hasil perhitungan penyeimbangan beban pada penyulang dengan arus netral tertinggi.

Jam	Feeder	R (A)	S (A)	T (A)	I _N (A)	I _{Rata-rata} (A)
10.00	BNL 11	270	189	256	74,987	238
	BNL 18	192	115	190	76,012	166
	BNL 16	303	208	269	83,373	260
19.00	BNL 16	328	205	257	106,94	263
	BNL 11	324	214	337	117,04	292
	BNL 16	367	218	313	130,66	299

IV. Kesimpulan

1. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada jaringan tegangan 20 kV Rayon Bantul menyebabkan timbulnya arus pada kabel netral dimana arus netral tersebut nilainya lebih besar pada waktu beban puncak seperti yang ditunjukkan saat pembebanan tanggal 1 oktober dimana nilai arus netral tertinggi terjadi pada penyulang BNL 16 pada jam 10.00 sebesar 71,25 A sedangkan pada jam 19.00 sebesar 99,87 A.
2. Rugi – rugi daya (losses) kabel netral tertinggi selama 3 bulan (Oktober, November dan Desember) terjadi pada penyulang BNL 11 yaitu pada jam 10.00 sebesar 3.255.703,95 watt dan pada jam 19.00 sebesar 10.445.998,91 watt.
3. Pada bulan Oktober dengan *losses* arus netral pada saat WLBP sebesar 64.295,74 kWh dan saat WBP 57.540,47 kWh maka kerugian akibat arus netral sebesar Rp 150.035.213,-. Pada bulan November dengan *losses* arus netral pada saat WLBP sebesar 54.583,48 kWh dan WBP sebesar 43.277,90 kWh maka

kerugian akibat arus netral sebesar Rp 119.293.404,-. Pada bulan Desember dengan losses arus netral pada saat WLBP sebesar 54.488,18 kWh dan saat WBP 42.644,61 kWh maka kerugian sebesar Rp 118.276.376,-.

4. Penyeimbangan beban dapat dilakukan dengan menyamakan beban pada ketiga fasa dengan menggunakan nilai arus dari hasil rata – rata ketiga arus fasanya.

Saran

- a. Bagi pihak PLN untuk lebih mengupayakan penyeimbangan beban fasa agar meminimalisir arus pada kabel netral yang dapat mengakibatkan rugi – rugi kabel netral dengan merekonfigurasi jaringan.
- b. Perlu adanya pencatatan data arus netral sebagai salah satu variabel perhitungan rugi – rugi daya dalam audit susut energi PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, Tamammul. 2017. *Analisis Ketidakseimbangan Beban Dan Rencana Penyeimbangan Beban Dengan Metode All Reconnecting Di Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) Cabang Flores Bagian Barat*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Antonov dan Doni A. 2015. *Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi (Aplikasi Feeder Sikapak)*. Padang: Institut Teknologi Padang. Jurnal Teknik Elektro ITP Vol. 4 No. 1: 65 – 70
- Bachtiar, Antonov dan Bayu D. 2017. *Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator Dengan Metode Seimbang Beban Sehari (SBS) Pada Gardu Depan Kantor Rayon PT.PLN (Persero) Kayu Aro*. Padang: Institut Teknologi Padang. Jurnal Teknik Elektro ITP Vol. 6 No. 1 :112-119
- Gultom, T.T. 2017. *Usaha Mengatasi Rugi – Rugi Daya Pada Sistem Distribusi 20 KV*. Medan: STTI Medan. Jurnal Integritas Vol. 3. No. 1: 14 - 23
- Latupeirissa, H.L. 2017. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi Gardu KP-01 Desa Hative Kecil*. Ambon: Politeknik Negeri Ambon. Jurnal Simetrik Vol.7. No.2: 16 - 22
- Sibarani, Rendy F dan Syamsul Amien. 2015. *Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi – Rugi Beban Pada Transformator Distribusi PLN Johor Medan*. Medan: USU. Jurnal Singuda Ensikom Vol.12 No.33: 49 – 54
- Setiadji, Julius Sentosa dkk. 2006. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra. Jurnal Teknik Elektro Vol. 6 No. 1: 68 – 73.
- Simamora, Yoakin dan Panusuar S.M.L Tobing. 2014. *Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi – Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah*. Medan: USU. Jurnal Singuda Ensikom Vol. 7 No. 3: 137 - 142
- Siregar, S.R. dan Raja Harahap. 2017. *Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, Dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban*. Medan: USU. Jurnal teknik elektro vol.2 no.3: 79 – 85
- Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 41-8:1981). *Hantaran Aluminium Campuran (AAAC)*. Jakarta: Departemen Pertambangan & Energi.
- Sukmadi, Tejo dan Bambang Winardi. 2009. *Perhitungan dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Rugi – Rugi Daya (Studi Kasus Pada PT. PLN UPJ Slawi)*. Semarang: Universitas Diponegoro. Jurnal Teknik Elektro Jilid 11 No. 1: 47 – 52
- Suripto, Slamet. 2014. *Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Syahputra, Ramadoni. 2016. *Buku Ajar Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta