

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Sumber energi listrik untuk daerah Rayon Bantul mayoritas disuplai dari Gardu Induk Bantul yang memiliki 3 Transformator Daya dengan kapasitas masing – masing 60 MVA, ketiga Transformator tersebut digunakan untuk menyuplai 18 penyulang. Rayon Bantul dipilih sebagai objek penelitian ini karena pernah terjadi hubung singkat pada jaringan 1 fasa karena arus netral yang tinggi, jaringan yang terjadi hubung singkat tersebut yaitu pada penyulang BNL 14.

Dalam penelitian ini membutuhkan beberapa data yaitu :

1. Data teknis Transformator daya Gardu Induk Bantul

Tabel 4.1 Data teknis Transformator Gardu Induk Bantul

TRAFO I	TRAFO III	TRAFO II
Merk : XIAN	Merk : PASTI	
Kapasitas : 60 MVA	Kapasitas : 60 MVA	Kapasitas : 60 MVA
Tegangan:150 KV/20 KV	Tegangan:150 KV/20 KV	Tegangan 150 KV/20 KV
Frekuensi : 50 Hz.	Frekuensi : 50 Hz.	Frekuensi : 50 Hz.
Phases : 3	Phases : 3	Phases : 3

2. Data penghantar Netral

Kabel AAAC 1x150 mm²

Nilai tahanan : 0,210 Ω/km

Untuk data panjang tiap penyulang terdapat pada tabel 4.2 berikut ini

Tabel 4.2 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

Data panjang kabel netral pada tabel 4. Diatas adalah panjang kabel netral pada jaringan tegangan menengah atau 20 kV. Panjang kabel netral tersebut mengikuti panjang kabel fasa dikarenakan jaringan distribusi di daerah Jawa Tengah dan Yogyakarta menggunakan sistem 4 kawat, sehingga sepanjang jaringan distribusi baik tegangan rendah hingga tegangan tinggi memakai kabel netral. Spesifikasi kabel dan panjang kabel tersebut akan digunakan dalam perhitungan rugi – rugi daya yang diakibatkan oleh arus netral.

3. Data pengukuran pembebanan jaringan tegangan menengah

Data pembebanan diperoleh dari hasil rekap data pengukuran oleh PT PLN APJ Yogyakarta pada titik keluaran tiap – tiap penyulang dengan 2 waktu pengukuran yaitu pada jam 10.00 pagi dan 19.00 malam selama bulan Oktober, November dan Desember 2017. Data pengukuran pembebanan yang dibutuhkan meliputi nilai arus tiap fasa yang terdapat pada lampiran data pembebanan Rayon Bantul bulan Oktober, November dan Desember 2017. Data tersebut akan

digunakan untuk menghitung persentase ketidakseimbangan beban fasa dan menghitung nilai arus netral

4. Data rekapitulasi nilai susut energi total pada bulan Oktober, November dan Desember 2017

Tabel 4.3 Data susut energi total bulan Oktober, November dan Desember 2017

Rayon		Oktober	November	Desember
Bantul	Kwh Siap Jual	28.837.906,40	26.330.853,47	26.956.383,30
	kWh Jual	25.866.768,00	24.659.910,00	24.222.304,00
	% Susut Bulanan	10,28	6,32	10,11
	Pemakaian Sendiri	7952,616	7696,08	7952,616

Susut energi total pada tabel 4.4 diatas diperoleh dari PT PLN APJ Yogyakarta, data tersebut nantinya akan digunakan sebagai perbandingan besar kecilnya nilai rugi – rugi daya yang disebabkan ketidakseimbangan beban terhadap susut energi total, sehingga dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk lebih memperhatikan masalah ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi.

4.2 Analisis Persentase Ketidakseimbangan Beban

Untuk menganalisa persentase ketidakseimbangan beban dilakukan pada dua zona waktu yaitu jam 10.00 yang diasumsikan sebagai waktu luar beban puncak (WLBP) dan jam 19.00 yang diasumsikan sebagai waktu beban puncak (WBP). Untuk menghitung nilai ketidakseimbangan ini dilakukan menggunakan data per hari. Pada bagian ini akan ditampilkan contoh perhitungan dimana menggunakan data pada tanggal 1 Oktober 2017 yang terdapat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Data pembebanan tanggal 1 oktober 2017

Data Trafo		Feeder	Beban Penyulang bulan Oktober						Tegangan (V)	
Unit	In (A)		JAM 10:00			JAM 19:00			10:00	19:00
			R (A)	S (A)	T (A)	R (A)	S (A)	T (A)		
I	1.732	BNL14	145,4	160,3	133,0	223,8	252,5	199,5	21,1	21,0
		BNL01	129,6	117,1	121,8	163,2	140,2	152,3	21,1	21,0
		BNL02	191,8	204,0	214,2	198,9	214,4	233,3	21,1	21,0
		BNL03	197,9	194,1	189,4	234,4	234,4	217,9	21,1	21,0
		BNL05	190,4	139,4	195,0	244,0	178,6	255,4	21,1	21,0
		BNL17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	21,1	21,0
II	1.732	BNL04	150,0	130,0	130,0	196,0	163,0	165,0	20,6	20,7
		BNL11	174,0	127,0	173,0	266,0	184,0	266,0	20,6	20,7
		BNL12	150,0	134,0	167,0	244,0	214,0	268,0	20,6	20,7
		BNL16	231,0	150,0	178,0	321,0	206,0	256,0	20,6	20,7
		BNL18	114,0	64,0	100,0	174,0	86,0	147,0	20,6	20,7
III	1.732	BNL06	149,0	167,0	174,0	239,0	276,0	270,0	21,1	21,0
		BNL07	159,0	182,0	158,0	214,0	250,0	204,0	21,1	21,0
		BNL08	152,0	137,0	153,0	213,0	196,0	217,0	21,1	21,0
		BNL09	61,0	51,0	56,0	78,0	67,0	74,0	21,1	21,0
		BNL10	0,0	2,0	8,0	34,0	40,0	43,0	21,1	21,0
		BNL13	31,0	33,0	31,0	28,0	30,0	29,0	21,1	21,0
		BNL15	32,0	25,0	26,0	30,0	21,0	23,0	21,1	21,0

Sebagai contoh perhitungan digunakan data pengukuran pembebanan pada penyulang BNL 14 tanggal 1 Oktober 2017. Penyulang BNL 14 dipilih sebagai contoh perhitungan dikarenakan pernah mengalami hubung singkat karena arus netral yang sangat tinggi.

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 :

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

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

$$I_{rata-rata} = 146,24 \text{ Ampere}$$

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

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

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

$$I_{\text{Ketidakseimbangan}} (\%) = \frac{\{|0,01|+|0,10|+|0,09|\}}{3} \times 100\%$$

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

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 :

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

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

$$I_{\text{rata-rata}} = 225,28 \text{ Ampere}$$

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

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

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

$$I_{\text{Ketidakseimbangan}} (\%) = \frac{\{|0,01|+|0,12|+|0,11|\}}{3} \times 100\%$$

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

Jadi, dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai persentase ketidakseimbangan beban pada penyulang BNL 14 pada tanggal 1 Oktober 2017

saat waktu luar beban puncak adalah 6,42 % dan saat waktu beban puncak adalah 8,05%.

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka diperoleh hasil perhitungan nilai persentase ketidakseimbangan beban pada penyulang lain dengan data pengukuran beban tanggal 1 Oktober 2017 dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 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%

Untuk hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban pada tanggal yang lain terdapat pada lampiran. Dari hasil perhitungan tabel diatas dapat dilihat bahwa persentase ketidakseimbangan beban lebih besar terjadi lebih banyak pada waktu beban puncak, akan tetapi terdapat waktu luar beban puncak yang memiliki persentase yang lebih tinggi seperti pada BNL 16, BNL 06, BNL 08, BNL 09, BNL 10, BNL 13 dan BNL 15.

Selain itu dapat diketahui bahwa besar kecilnya pembebanan tidak terlalu berpengaruh terhadap besar kecilnya persentase ketidakseimbangan beban. Hal tersebut dibuktikan dengan persentase pada penyulang BNL 02 yang memiliki rata – rata pembebanan 203,36 pada jam 10.00 memiliki persentase 3,78% dan pada jam 19.00 rata – rata pembebanan 216,52A dengan persentase 5,49%. Sedangkan pada BNL 18 dengan pembebanan pada jam 10.00 sebesar 92,67A dengan persentase 20,62% dan pembebanan pada jam 19.00 sebesar 135,67A dengan persentase ketidakseimbangan beban 24,41%.

Ketidakeimbangan tersebut terjadi karena adanya selisih nilai arus antar fasenya, hal ini dikarenakan beban pada sisi ujung atau pelanggan yang memiliki sifat dan jumlah beban yang berbeda – beda pada masing – masing fasenya.

Ketidakeimbangan beban tersebut dapat menyebabkan kelebihan beban pada salah satu fasa. Apabila salah satu fasa sering mengalami kelebihan beban dibandingkan fasa yang lain dan dibiarkan terus – menerus dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi trafo.

4.3 Analisis Nilai Arus Netral

Nilai arus pada tiap fasa R, S dan T yang berbeda – beda akan menimbulkan adanya arus yang mengalir pada kawat netral. Pada perhitungan nilai arus netral terbagi pada 2 zona waktu yaitu data pembebanan jam 10.00 untuk mewakili waktu luar beban puncak (WLBP) dan data pembebanan jam 19.00 untuk mewakili waktu beban puncak (WBP), dimana contoh perhitungan yang ditampilkan menggunakan data pengukuran pada tabel 4.3 yaitu pengukuran pada tanggal 1 Oktober 2017 penyulang BNL 14 sebagai berikut.

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

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

Dengan menjadikan fasa R sebagai referensi maka kita dapat menentukan besar arus dan sudut $\cos \phi$ fasa

Fasa R : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$ maka $I_R = 145,4 \angle - 11,48^\circ$ A

Fasa S : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$ maka $I_S = 160,3 \angle - 11,48^\circ - 120^\circ$ A

Fasa S : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$ maka $I_T = 133,0 \angle -11,48^\circ + 120^\circ$ A

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

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

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

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

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

$$-I_N = -5,93 - j22,92$$

$$I_N = 5,93 + j22,92$$

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

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

Dengan menjadikan fasa R sebagai referensi maka kita dapat menentukan besar arus dan sudut $\cos \phi$ fasa

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 S : $\Phi = \arccos 0,98 = 11,48^\circ$ 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. Perhitungan arus netral dilakukan dengan data per hari jadi untuk hasil perhitungan arus netral pada tanggal lainnya terdapat pada lampiran.

Tabel 4.6 Nilai arus netral pada tanggal 1 Oktober 2017

<i>Feeder</i>	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

Dari tabel 4.6 diatas dapat dilihat bahwa nilai arus netral pada pembebanan tanggal 1 oktober 2017 terjadi arus netral yang tinggi pada penyulang BNL 16 baik pada jam 10.00 maupun jam 19.00 yaitu 71,25 A dan 99,87 A. Selain itu dengan menghitung arus netral menggunakan 2 zona waktu yaitu jam 10.00 dan jam 19,00 dapat diperoleh hasil arus netral yang lebih tinggi pada jam 19.00 atau sebagai mewakili waktu beban puncak. Hal itu disebabkan nilai pembebanan penyulang umumnya akan lebih besar pada jam 19.00 dibandingkan jam 10.00. Jadi besar kecilnya pembebanan jaringan juga mempengaruhi besar kecilnya nilai arus netral, semakin besar pembebanan dapat menyebabkan arus netral menjadi besar pula dan begitu pun sebaliknya.

Selain itu hal yang mempengaruhi arus netral adalah jarak atau selisih arus masing – masing fasa, hal ini terlihat pada BNL 14 dan BNL 08 yang memiliki rata – rata arus fasa yang hampir sama yaitu 146,24 A dan 147,33 A (Tabel 4.5), akan tetapi dikarenakan selisih arus yang berbeda maka nilai arus netralnya menjadi berbeda yaitu BNL 14 dengan 23,72 A sedangkan BNL 08 15,52 A, hal tersebut dikarenakan BNL 14 memiliki selisih yang lebih besar pada antar fasanya sedangkan pada BNL 08 pada fasa R dan T memiliki selisih yang kecil (Tabel 4.4). Maka semakin besar selisih antar fasa akan mengakibatkan arus netral semakin besar pula.

Dengan hasil perhitungan arus netral dengan menggunakan data pembebanan perhari (lampiran), maka dari 3 bulan yang diteliti yaitu bulan Oktober, November dan Desember dapat diketahui terdapat nilai arus netral yang tertinggi pada tiap bulannya yang diambil pada masing – masing zona waktu (WLBP dan WBP) pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Rekap nilai arus netral tertinggi pada penyulang gardu induk bantu selama bulan Oktober, November dan Desember tahun 2017

Jam	Tanggal	Feeder	V (v)	R (A)	S (A)	T (A)	I _N (A)
10.00	3 Oktober	BNL 11	20,4	270	189	256	74,98
	27 November	BNL 18	20,6	192	115	190	76,02
	9 Desember	BNL 16	20,5	303	208	269	83,37
19.00	29 Oktober	BNL 16	20	328	205	257	106,94
	30 November	BNL 11	20,6	324	214	337	117,04
	7 Desember	BNL 16	20,1	367	218	313	130,6

Dari hasil perhitungan nilai arus netral per hari maka diketahui bahwa nilai arus netral tertinggi pada waktu luar beban puncak (WLBP) untuk bulan Oktober terjadi pada penyulang BNL 11 tanggal 3 yaitu 74,98 A, untuk bulan November terjadi pada penyulang BNL 18 tanggal 27 yaitu 76,02 A, dan untuk bulan Desember terjadi pada penyulang BNL 16 tanggal 9 yaitu 83,37 A. Sedangkan

nilai arus netral pada waktu beban puncak (WBP) untuk bulan Oktober tertinggi pada penyulang BNL 16 tanggal 29 yaitu 106,94 A, untuk bulan November tertinggi pada penyulang BNL 11 tanggal 30 sebesar 117,04 A dan untuk bulan Desember tertinggi pada penyulang BNL 16 tanggal 7 dengan arus netral mencapai 130,65 A.

Jika diperhatikan nilai arus netral pada WLBP dan WBP pada bulan Oktober, November dan Desember tersebut terlihat bahwa nilai arus netral pada jam 19.00 atau waktu beban puncak lebih tinggi dibanding dengan jam 10.00 atau waktu luar beban puncak. Dari hasil perhitungan arus netral tersebut diharapkan dapat menjadi masukan untuk melakukan tindakan penyeimbangan beban untuk meminimalisir nilai arus netral tersebut terutama pada penyulang yang memiliki nilai arus netral tertinggi seperti BNL 16, BNL 18, dan BNL 11.

Arus netral ini tidak terlalu mengganggu pendistribusian listrik akan tetapi apabila dibiarkan, nilai arus netral yang tinggi dapat menyebabkan timbulnya titik panas pada bagian netral trafo gardu induk sehingga mengurangi *life time* atau umur pakai trafo dan komponen jaringan distribusi.

4.4 Rugi – Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi akan menyebabkan timbulnya arus pada penghantar netral, arus tersebut dapat digunakan untuk menghitung rugi – rugi daya atau energi yang terbuang akibat adanya ketidakseimbangan beban tersebut. Nilai rugi – rugi daya yang dihitung adalah pada sepanjang kabel penghantar netral dimana panjang kabel netral mengikuti panjang kabel fasa dikarenakan jaringan distribusi di Jawa Tengah dan Yogyakarta menggunakan sistem 4 kawat sehingga sepanjang jaringan terdapat kabel netral.

Karena sifat beban yang selalu berubah – ubah setiap waktu dan keterbatasan data yang diperoleh maka untuk menghitung rugi – rugi energi atau energi yang terbuang dibagi pada 2 zona waktu yaitu waktu luar beban puncak yang diasumsikan selama 19 jam dimana menggunakan data pembebanan pada jam

10.00, dan waktu beban puncak (WBP) yang diasumsikan berlangsung dari pukul 17.00 – 22.00 atau selama 5 jam dimana menggunakan data pembebanan pada jam 19.00.

Sebagai contoh perhitungan diambil dari hasil perhitungan arus netral tanggal 1 Oktober 2017 (tabel 4.6).

1. Rugi – rugi daya pada jam 10.00 (WLBP)

$$\text{BNL 14 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 23,67^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 30,79 \text{ km} = 3.639,97 \text{ watt}$$

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

$$\text{BNL 01 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 10,93^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,23 \text{ km} = 181,24 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 181,24 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 3,44 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 02 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 19,42^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 4,91 \text{ km} = 388,97 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 388,97 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 7,39 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 03 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 7,35^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,01 \text{ km} = 79,63 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 79,63 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 1,51 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 05 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 53,51^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,56 \text{ km} = 6.951,28 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 6.951,28 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 132,07 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 17 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 0,0^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 9,13 \text{ km} = 0,00 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 0,00 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 0,00 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 04 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 20^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,76 \text{ km} = 231,67 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 231,67 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 4,40 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 11 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 46,51^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 82,74 \text{ km} = 37.584,66 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 37.584,66 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 714,11 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 12 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 28,58^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 113,07 \text{ km} = 19.399,42 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 19.399,42 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 368,59 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 16 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 71,25^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,76 \text{ km} = 2.940,50 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 2.940,50 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 55,87 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 18 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 44,68^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,03 \text{ km} = 4.624,38 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 4.624,38 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 87,86 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 06 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 22,34^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 81,54 \text{ km} = 8.544,67 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 8.544,67 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 162,35 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 07 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 23,52^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 194,98 \text{ km} = 22.643,03 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 22.643,03 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 430,22 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 08 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 15,52^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,10 \text{ km} = 5,06 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 5,06 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 0,10 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 09 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 8,66^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 010 \text{ km} = 1,57 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 1,57 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 0,03 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 10 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 7,21^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 3,18 \text{ km} = 34,73 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 34,73 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 0,66 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 13 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 2^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,6 \text{ km} = 6,38 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 6,38 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 0,12 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 15 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 6,56^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 6 \text{ km} = 54,18 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 54,18 \text{ watt} \times 19 \text{ jam} / 1000 = 1,03 \text{ kWh}$$

2. Rugi – rugi daya pada jam 19.00 (WBP)

$$\text{BNL 14 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 45,92^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 30,79 \text{ km} = 13.633,62 \text{ watt}$$

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

$$\text{BNL 01 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 19,96^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,23 \text{ km} = 605,1 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 605,1 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 3,03 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 02 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 29,84^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 4,91 \text{ km} = 918,03 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 918,03 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 4,59 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 03 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 16,48^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,01 \text{ km} = 399,81 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 399,81 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 2 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 05 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 71,8^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,56 \text{ km} = 12.513,89 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 12.513,89 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 62,57 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 17 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 0,0^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 9,13 \text{ km} = 0,00 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 0,00 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 0,00 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 04 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 32,05^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,76 \text{ km} = 594,82 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WLBP}} = 594,82 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 2,97 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 11 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 82^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 82,74 \text{ km} = 116.837,38 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 116.837,38 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 584,19 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 12 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 46,86^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 113,07 \text{ km} = 52.143,36 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 52.143,36 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 260,72 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 16 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 99,87^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,76 \text{ km} = 5.777,32 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 5.777,32 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 28,89 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 18 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 78,08^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,03 \text{ km} = 14.125,68 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 14.125,68 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 70,63 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 06 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 34,39^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 81,54 \text{ km} = 20.257,2 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 20.257,2 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 101,29 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 07 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 41,90^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 194,98 \text{ km} = 71.900,82 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 71.900,82 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 359,5 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 08 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 19,31^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,10 \text{ km} = 7,83 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 7,83 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 0,04 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 09 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 9,64^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 010 \text{ km} = 1,95 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 1,95 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 0,01 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 10 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 7,94^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 3,18 \text{ km} = 42,07 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 42,07 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 0,21 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 13 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 1,73^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,6 \text{ km} = 4,79 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 4,79 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 0,02 \text{ kWh}$$

$$\text{BNL 15 : } P_N = I_N^2 \cdot R_N \cdot L = 8,19^2 \text{ A} \times 0,210 \text{ } \Omega/\text{km} \times 6 \text{ km} = 84,42 \text{ watt}$$

$$W_{\text{WBP}} = 84,42 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} / 1000 = 1,42 \text{ kWh}$$

Dari perhitungan rugi – rugi daya (P_N) dan rugi – rugi energi (W) diatas dengan menggunakan data pembebanan tanggal 1 Oktober 2017 maka diperoleh hasil pada tabel 4.8 dan dengan cara yang sama maka dapat diperoleh nilai daya rugi – rugi daya (P_N) pada tanggal lainnya pada bulan Oktober, November dan Desember 2017 yang terdapat pada lampiran.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan rugi – rugi daya dan rugi 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

Pada hasil perhitungan tabel 4.8 menunjukkan bahwa nilai rugi – rugi daya tertinggi terjadi pada penyulang BNL 11 yaitu pada jam 10.00 sebesar 37.584,66 watt dan pada jam 19.00 sebesar 116.837,38 watt sedangkan untuk rugi – rugi energi tertinggi juga terjadi pada penyulang BNL 11 yaitu pada waktu luar beban puncak (WLBP) sebesar 714,11 kWh dan saat beban puncak (WBP) sebesar 584,19 kWh.

Setelah dilakukan perhitungan rugi – rugi daya menggunakan data pengukuran per-hari maka hasil perhitungan rugi – rugi daya (P_N) dapat di jumlahkan selama 30 hari berdasarkan masing – masing zona waktu yaitu WLBP dan WBP pada setiap penyulang sehingga diperoleh nilai rugi – rugi daya total pada waktu luar beban puncak dan waktu beban puncak selama 1 bulan yang terdapat pada tabel 4.9 berikut

Tabel 4.9 Rugi – rugi daya masing – masing penyulang pada jam 10.00 dan 19.00 selama 3 bulan

Feeder	Oktober		November		Desember		Total	
	10.00 (Watt)	19.00 (Watt)	10.00 (Watt)	19.00 (Watt)	10.00 (Watt)	19.00 (Watt)	10.00 (Watt)	19.00 (Watt)
BNL01	26.727,64	22.680,57	19.369,17	15.875,99	18.343,89	32.386,39	64.440,70	70.942,95
BNL02	18.015,83	28.004,13	11.134,9	21.486	10.771,91	17.324,68	39.922,65	66.814,81
BNL03	18.276,54	28.030,67	25.688,84	28.753,1	21.962,67	24.641,71	65.928,04	81.425,49
BNL05	167.698,7	405.655,77	127.805,52	315.882,82	60.486,43	157.222,1	355.990,65	878.760,69
BNL14	90.699,1	397.639,91	88.998,35	374.558,46	127.940,79	565.494,87	307.638,23	1.337.693,24
BNL17	5.206,89	19.673,05	535,07	1.451,79	13.819,85	45.450,53	19.561,82	66.575,38
BNL04	23.434,2	49.903,31	50.777,29	94.193,78	17.906,51	29.854,41	92.118,00	173.951,50
BNL11	989.659,91	3.249.778,67	980.450,54	3.201.264,4	1.285.593,5	3.994.955,8	3.255.703,95	10.445.998,91
BNL12	529.578,04	2.196.455,98	489.853,16	1.655.148,1	689.783,54	2.330.376,1	1.709.214,74	6.181.980,13
BNL16	56.495,53	136.577,59	65.143,85	167.658,13	77.862,06	196.351,87	199.501,45	500.587,59
BNL18	135.923,49	418.008,52	118.709,48	356.795,68	64.449,44	142.429,13	319.082,41	917.233,33
BNL06	437.935,61	654.000,96	274.593,76	472.662,23	170.670,74	211.150,89	883.200,10	1.337.814,08
BNL07	881.563,07	3.896.566,11	615.005,92	1.943.205,8	306.438,4	777.929,25	1.803.007,36	6.617.701,14
BNL08	331,55	288,9	305,99	255,09	99,94	107,67	737,48	651,65
BNL09	93,37	70,87	76,54	65,62	45,65	39,94	215,56	176,44
BNL10	572,97	1.367,65	568,97	1.201,37	240,41	497,51	1.382,35	3.066,54
BNL13	220,25	282,49	632,02	750,12	304,84	400,6	1.157,10	1.433,21
BNL15	1.553,58	3.108,42	3.165,12	4.370,94	1.078,56	2.308,32	5.797,26	9.787,68

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.9 dapat diketahui bahwa selama bulan Oktober, November dan Desember penyulang yang memiliki tingkat rugi – rugi daya tertinggi adalah 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. Besar kecilnya nilai rugi – rugi daya tersebut dipengaruhi oleh nilai arus netral, resistansi dan panjang kabel penghantar netral. Dari semua penyulang pada Rayon Bantul tersebut yang memiliki panjang kabel terpanjang adalah BNL 07 dengan 194,98 kms (kilo meter sirkuit) akan tetapi rugi – rugi daya pada penyulang ini masih lebih rendah dari BNL 11 yang memiliki panjang kabel netral 82,74 kms, hanya pada bulan Oktober pukul 19.00 yang lebih besar dari BNL 11, hal ini disebabkan karena nilai arus netral BNL 07 lebih kecil dengan rata – rata arus netral pada jam 19.00 sebesar 54,39 A sedangkan BNL 11 memiliki rata – rata arus netral 76,49A (lampiran).

Dari hasil rugi – rugi daya pada tabel 4.9 dapat dikonversi menjadi rugi – rugi energi dengan cara perhitungan yang sama dengan rugi – rugi energi per-hari maka dapat diperoleh nilai rugi – rugi energi selama 3 bulan (Oktober, November dan Desember 2017) yang terdapat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Rugi – rugi energi total selama bulan Oktober, November dan Desember tahun 2017

Feeder	Oktober		November		Desember		W Total per-penyulang (kWh)
	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	1.579,09
BNL02	342,3	140,02	211,56	107,43	204,67	86,62	1.092,6
BNL03	347,25	140,15	488,09	143,77	417,29	123,21	1.659,76
BNL05	3.186,28	2.028,28	2.428,3	1.579,41	1.149,24	786,11	11.157,63
BNL14	1.723,28	1.988,2	1.690,97	1.872,79	2.430,87	2.827,47	12.533,59
BNL17	98,93	98,37	10,17	7,26	262,58	227,25	704,55
BNL04	445,25	249,52	964,77	470,97	340,22	149,27	2.620
BNL11	18.803,54	16.248,89	18.628,56	16.006,32	24.426,28	19.974,78	114.088,37
BNL12	10.061,98	10.982,28	9.307,21	8.275,74	13.105,89	11.651,88	63.384,98
BNL16	1.073,42	682,89	1.237,73	838,29	1.479,38	981,76	6.293,47
BNL18	2.582,55	2.090,04	2.255,48	1.783,98	1.224,54	712,15	10.648,73
BNL06	8.320,78	3.270	5.217,28	2.363,31	3.242,74	1.055,75	23.469,87
BNL07	16.749,7	19.482,83	11.685,11	9.716,03	5.822,33	3.889,65	67.345,65
BNL08	6,3	1,44	5,81	1,28	1,9	0,54	17,27
BNL09	1,77	0,35	1,45	0,33	0,87	0,20	4,98
BNL10	10,89	6,84	10,81	6,01	4,57	2,49	41,6
BNL13	4,18	1,41	12,01	3,75	5,79	2,00	29,15
BNL15	29,52	15,54	60,14	21,85	20,49	11,54	159,09
Total per bulan	64.295,74	57.540,47	54.583,48	43.277,9	54.488,18	42.644,61	316.830,37
	121.836,21		97.861,37		97.132,79		

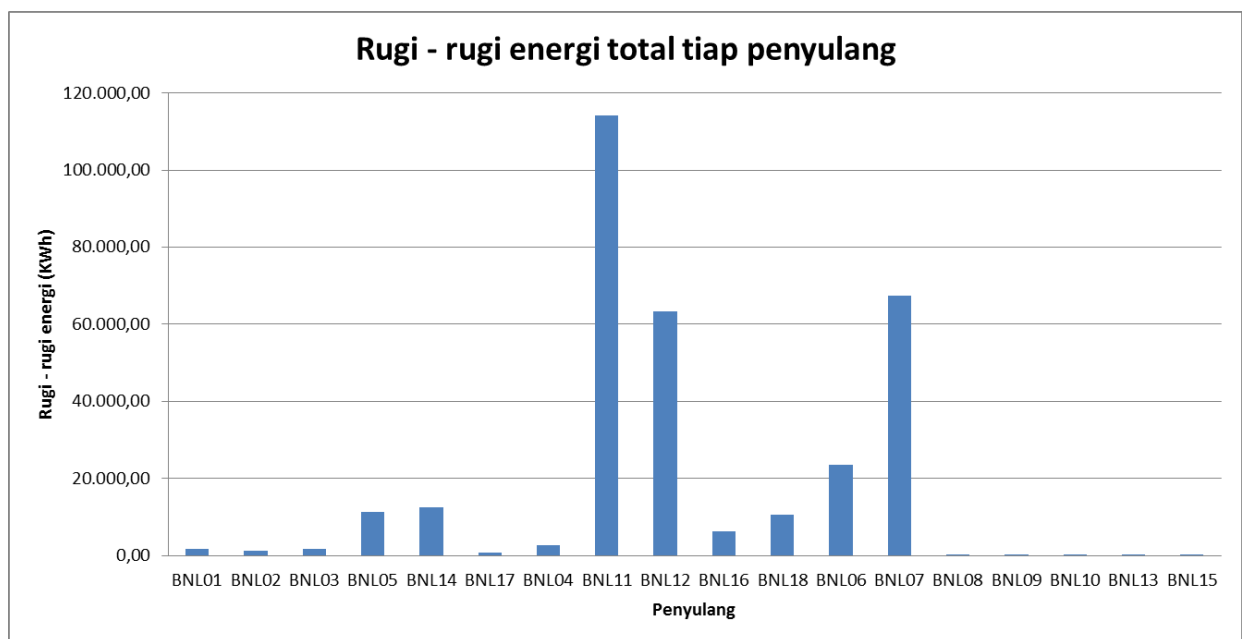
Berdasarkan tabel 4.10 diatas total rugi – rugi energi dari bulan Oktober, November hingga Desember adalah 316.830,37 kWh. Selain itu diketahui bahwa rugi – rugi energi lebih banyak pada waktu di luar beban puncak akan tetapi perhitungan rugi – rugi energi tersebut menggunakan estimasi waktu dengan asumsi WLBP 19 jam dan WBP 5 jam, sehingga tidak akurat karena beban yang selalu berubah - ubah.

Selain itu rugi – rugi daya terbesar dari 3 bulan yang diteliti terjadi pada bulan Oktober dan terjadi penurunan pada bulan November dan Desember. Hal tersebut dikarenakan pada bulan Desember pada Transformator unit 3 tidak ada

pembebanan selama sekitar 2 minggu, hal ini dapat disebabkan banyak faktor salah satunya dikarenakan adanya kerusakan sehingga memerlukan waktu untuk perbaikan.

Dari tabel 4.10 diatas dapat dibuat grafik untuk memperlihatkan penyulang (*feeder*) yang memiliki nilai rugi – rugi energi yang tinggi selama 3 bulan tersebut.

Grafik 4.1 Rugi – rugi energi (W) total tiap penyulang selama 3 bulan



Data yang digunakan pada grafik 4.1 diambil dari rugi – rugi energi (W) total tiap penyulang selama 3 bulan. Dari grafik 4.1 juga dapat diketahui bahwa penyulang yang menyumbangkan rugi – rugi energi tertinggi selama bulan Oktober, November dan Desember adalah BNL 11 dengan rugi – rugi energi selama 3 bulan tersebut sebesar 114.088,37 kWh. sehingga dari perhitungan tersebut dapat diperoleh gambaran bahwa rugi energi yang disebabkan adanya arus netral cukup besar sehingga perlu dilakukan tindakan agar rugi – rugi energi tersebut dapat menjadi sekecil mungkin.

4.5 Kerugian Akibat Ketidakseimbangan Beban

Berdasarkan dari hasil perhitungan nilai rugi – rugi energi dapat kita hitung besarnya kerugian yang dialami oleh PT. PLN karena adanya arus netral yang ditimbulkan akibat adanya ketidakseimbangan beban pada jaringan dengan mengalikan hasil perhitungan rugi – rugi energi dengan tarif dasar listrik yang ditetapkan oleh PT. PLN pada gambar 4.1.

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

BULAN APRIL - JUNI 2018

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
2	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
5	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
6	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
7	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
9	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
10	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
11	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
12	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

- *) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
- ***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung
- ****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung
- *****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0.85 (delapan puluh lima per seratus).
- K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat (1,4 ≤ K ≤ 2), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Gambar 4.1 Tarif dasar tenaga listrik

Pada penelitian ini dilakukan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang merupakan jaringan 3 fasa maka diasumsikan termasuk golongan I-3 atau B-3, berdasarkan penetapan tarif tenaga listrik oleh PT. PLN maka tarif tenaga listrik

dihitung berdasarkan 2 zona waktu yaitu WBP dan WLBP, sedangkan kVArh merupakan biaya tambahan untuk pemakaian daya reaktif (kVArh), biaya tambahan ini dikenakan untuk pelanggan yang memiliki faktor daya rata – rata kurang dari 0,85 dalam satu bulan. Biasanya ini terjadi pada industri yang memakai banyak beban pada motor. Untuk perhitungan pada penelitian ini nilai kVArh dianggap 0 karena nilai faktor daya ($\cos \varphi$) diasumsikan diatas 0,85.

Untuk konstanta K pada perhitungan tarif dasar listrik golongan I3 tersebut merupakan faktor perbandingan antara harga WBP dan WLBP yang umumnya $1,4 \leq K \leq 2$, pada perhitungan pada penelitian ini digunakan konstanta K yang paling minimum yaitu 1,4.

Kerugian akibat adanya arus netral yang ditimbulkan ketidakseimbangan beban pada bulan Oktober, November dan Desember tahun 2017 sebagai berikut

Bulan Oktober

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

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

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

Bulan November

$$\begin{aligned} \text{WLBP} &= \text{Rugi – rugi energi WLBP (kWh)} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= 54.583,48 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= \text{Rp } 56.536.472,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WBP} &= K \times \text{Rugi – rugi energi WBP (kWh)} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= 1,4 \times 43.277,90 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= \text{Rp } 62.756.932,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka kerugian bulan November} &= \text{Rp } 56.536.472,- + \text{Rp } 62.756.932,- \\ &= \text{Rp } 119.293.404,- \end{aligned}$$

Bulan Desember

$$\begin{aligned}\text{WLBP} &= \text{Rugi} - \text{rugi energi WLBP (kWh)} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= 54.488,18 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= \text{Rp } 56.437.770,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{WBP} &= K \times \text{Rugi} - \text{rugi energi WBP (kWh)} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= 1,4 \times 42.644,61 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.035,78 \\ &= \text{Rp } 61.838.606,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka kerugian bulan Desember} &= \text{Rp } 56.437.770,- + \text{Rp } 61.838.606,- \\ &= \text{Rp } 118.276.376,-\end{aligned}$$

Sehingga kerugian total dari bulan Oktober sampai Desember 2017

$$\begin{aligned}&= \text{Rp } 150.035.213,- + \text{Rp } 119.293.404,- + \text{Rp } 118.276.376,- \\ &= \text{Rp } 387.604.993\end{aligned}$$

Dengan menjumlahkan rugi – rugi energi tiap penyulang dalam waktu 1 bulan maka dapat diperoleh hasil sebagai berikut

Tabel 4.11 Nilai rugi – rugi energi dan kerugian finansial

Bulan	Rugi – rugi energi (kWh)		Kerugian
	WLBP	WBP	
Oktober	64.295,74	57.540,47	Rp 150.035.213,-
November	54.583,48	43.277,90	Rp 119.293.404,-
Desember	54.488,18	42.644,61	Rp 118.276.376,-
TOTAL	316.830,37		Rp387.604.993,-

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

Untuk mengetahui seberapa besar perbandingan rugi – rugi energi yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban terhadap susut energi total dapat dilakukan dengan membagi rugi – rugi energi selama 1 bulan dengan susut energi total PT. PLN kemudian dikalikan 100% sehingga diperoleh sebagai berikut :

➤ 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

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

➤ Bulan November

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total November} &= \text{kWh Siap Jual} - \text{Kwh Jual} - \text{Pemakaian sendiri} \\ &= 26.330.853,47 - 24.659.910,00 - 7696,08 \\ &= 1.663.247,39 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Perbandingan Susut energi akibat arus netral terhadap susut energi total selama bulan November

$$\begin{aligned}\% \text{ Rugi energi terhadap susut total} &= \frac{\text{Rugi - rugi energi 1 bulan (kWh)}}{\text{Susut energi total (kWh)}} \times 100 \% \\ &= \frac{97.861,38}{1.663.247,39} \times 100\% \\ &= 5,88 \%\end{aligned}$$

➤ Bulan Desember

$$\text{Susut energi total Desember} = \text{kWh Siap Jual} - \text{Kwh Jual} - \text{Pemakaian sendiri}$$

$$= 26.956.383,30 - 24.222.304 - 7952,616$$

$$= 2.726.126,68 \text{ kWh}$$

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

$$\% \text{ Rugi energi terhadap susut total} = \frac{\text{Rugi - rugi energi 1 bulan (kWh)}}{\text{Susut energi total (kWh)}} \times 100\%$$

$$= \frac{97.132,79}{2.726.126,68} \times 100\%$$

$$= 3,56 \%$$

Maka dari hasil perhitungan perbandingan rugi – rugi energi akibat ketidakseimbangan beban diatas dapat ditulis dalam tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.12 Perbandingan rugi – rugi energi akibat ketidakseimbangan beban terhadap susut energi total PLN.

Bulan	Susut Total PLN (kWh)	Rugi energi akibat ketidakseimbangan beban (kWh)	% Rugi energi akibat 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

Pada tabel 4.11 menunjukkan nilai susut total PLN diperoleh dari hasil pengurangan kWh siap jual, kWh jual dan PSSD. kWh siap jual merupakan energi listrik yang PLN beli dari pembangkit, kWh jual merupakan energi listrik yang telah dijual ke pelanggan, sedangkan PSSD adalah energi listrik yang digunakan sendiri oleh PLN. Maka dari itu sisa dari dari kWh jual dan PSSD merupakan susut energi total dari PT PLN, susut energi tersebut merupakan total dari berbagai faktor atau jenis rugi – rugi saat pendistribusian energi listrik salah satunya adalah akibat adanya ketidakseimbangan beban.

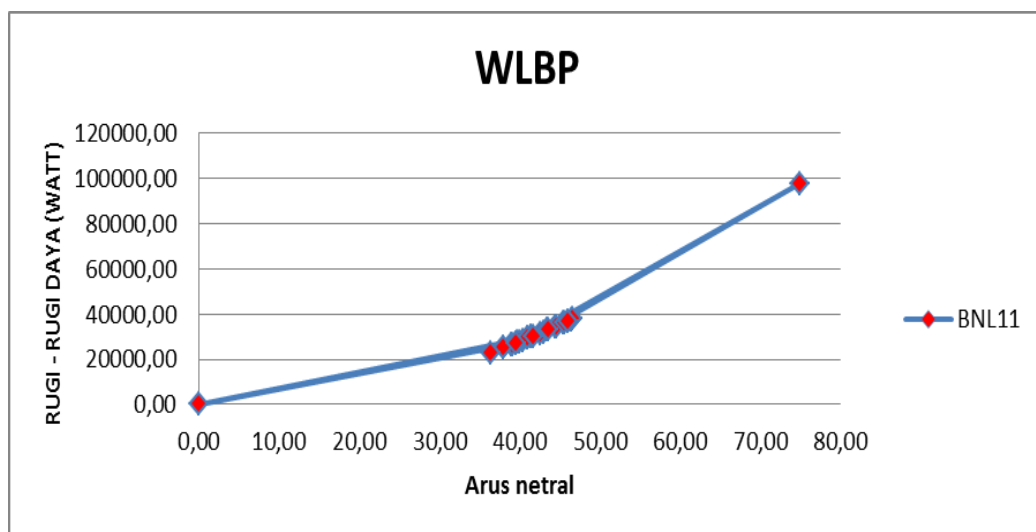
Dari tabel 4.10 dapat diketahui bahwa susut energi atau rugi – rugi yang diakibatkan ketidakseimbangan beban pada bulan Oktober menyumbangkan 121.836,21 kWh atau 4,11%, pada bulan November menyumbangkan 97.861,38

kWh atau 5,88%, bulan Desember menyumbangkan 97.132,79 kWh atau 3,56 % terhadap susut total PLN.

4.7 Analisis Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi – Rugi Daya

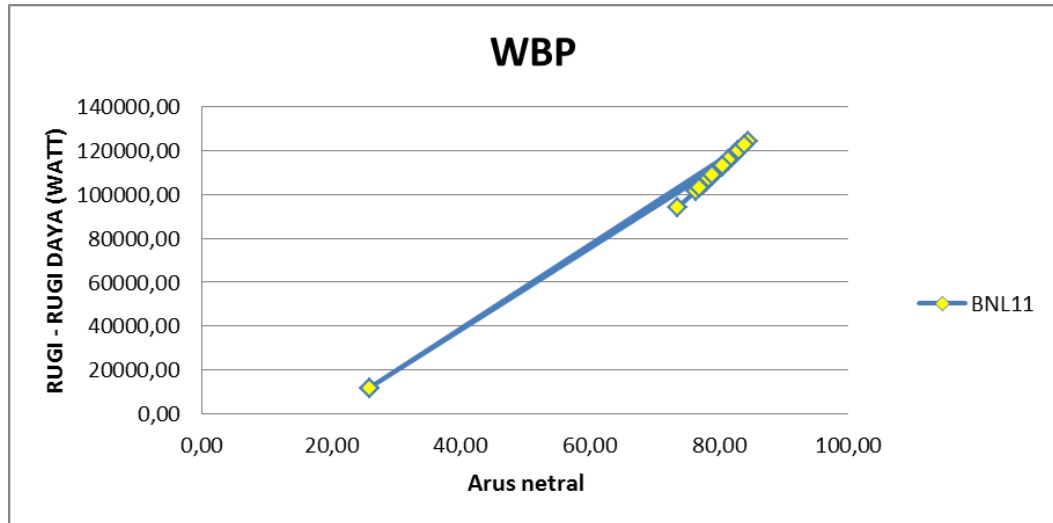
Pada penelitian ini rugi – rugi daya yang dihitung adalah rugi – rugi daya yang diakibatkan oleh adanya arus netral (I_N). Dibawah ini grafik hubungan antara arus netral terhadap rugi – rugi daya akibat arus netral (P_N) pada penyulang BNL 11 pada bulan Oktober menggunakan hasil perhitungan arus netral dan rugi – rugi daya per-hari. Penyulang tersebut dipilih karena memiliki rugi – rugi daya yang tinggi dibandingkan penyulang lainnya.

Grafik 4.2 Hubungan arus netral dengan rugi – rugi daya pada penyulang BNL 11 bulan Oktober waktu luar beban puncak



Dari grafik 4.2 diatas terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan selama bulan Oktober, hal tersebut menandakan bahwa rugi – rugi daya akibat ketidakseimbangan beban akan semakin besar apabila nilai arus netral juga besar dan rugi – rugi daya akan kecil apabila nilai arus netral juga kecil. Maka hubungan antara arus netral dan rugi – rugi daya akibat ketidakseimbangan beban adalah berbanding lurus dengan syarat panjang dan resistansi kabel selalu tetap.

Grafik 4.3 Hubungan arus netral dengan rugi – rugi daya pada penyulang BNL 11 bulan Oktober waktu beban puncak



Pada grafik 4.3 diatas hampir sama dengan waktu luar beban puncak dimana hubungan arus netral dengan rugi – rugi daya arus netral pada waktu beban puncak juga berbanding lurus. Tetapi pada waktu beban puncak memiliki rata – rata arus netral dan rugi – rugi daya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan waktu luar beban puncak. Hal tersebut dikarenakan pembebanan pada waktu beban puncak lebih tinggi daripada waktu luar beban puncak sehingga memicu arus netral menjadi lebih besar pula yang berdampak pada besarnya rugi – rugi daya akibat arus netral tersebut.

4.8 Analisis Nilai Keseimbangan Beban

Masalah ketidakseimbangan beban perlu segera diatasi agar meminimalisir nilai arus netral yang menimbulkan rugi – rugi daya dan kerugian finansial bagi PT. PLN, salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan penyeimbangan beban fasa.

Dari data perhitungan yang telah dilakukan terdapat beberapa nilai persentase ketidakseimbangan yang sangat tinggi akan tetapi jika dilihat dari nilai pembebanannya, arusnya sangat kecil bahkan mencapai 0 sehingga tidak dapat terlalu mengkhawatirkan karena semakin kecil nilai pembebanan akan

menghasilkan arus netral yang kecil pula, maka penyeimbangan beban dilakukan pada penyulang yang memiliki nilai arus netral yang sangat tinggi yaitu pada tabel 4.7.

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

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

Jadi untuk mencapai titik keseimbangan

Fasa R : $270 - 238 = 32 \text{ A}$ (melepaskan atau memindahkan beban sebesar 32 A)

Fasa S : $189 - 238 = - 49 \text{ A}$ (menerima tambahan beban sebesar 49 A)

Fasa T : $256 - 238 = 18 \text{ A}$ (melepaskan atau memindahkan beban sebesar 18 A)

Untuk hasil perhitungan nilai keseimbangan pada penyulang lain yang mengalami arus netral yang tinggi ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut

Tabel 4.13 Hasil perhitungan penyeimbangan beban pada penyulang dengan arus netral tertinggi.

Jam	Tanggal	Feeder	R (A)	S (A)	T (A)	I_N (A)	$I_{Rata-rata}$ (A)
10.00	3 Oktober	BNL 11	270	189	256	74,987	238
	27 November	BNL 18	192	115	190	76,012	166
	9 Desember	BNL 16	303	208	269	83,373	260
19.00	29 Oktober	BNL 16	328	205	257	106,94	263
	30 November	BNL 11	324	214	337	117,04	292
	Desember	BNL 16	367	218	313	130,66	299

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.12 dapat dilihat bahwa terdapat penyulang yang mengalami tingginya arus netral pada jaringan tegangan menengah Rayon

Bantul. Tingginya arus netral tersebut meskipun masih dibawah ambang batas kemampuan hantaran kabel tetapi dapat menyebabkan rugi – rugi daya penghantar netral yang cukup banyak sehingga perlu adanya upaya meminimalisir dengan menyeimbangkan beban pada jaringan 3 fasa, penyeimbangan beban dapat dilakukan dengan memindahkan beban dari fasa yang memiliki beban yang tinggi ke fasa yang bebannya lebih rendah. Hal tersebut dilakukan pada jaringan 1 fasa pada panel trafo distribusi. Selain itu juga dapat dilakukan pemindahan beban pada penyulang yang memiliki pembebanan yang tinggi ke penyulang lain yang memiliki pembebanan yang lebih rendah dengan cara membuka atau menutup *switch*, karena tingginya arus netral juga dipengaruhi oleh besarnya pembebanan pada penyulang.