

# UPAYA PENURUNAN *LOSSES ENERGY* BERBASIS PENYEIMBANGAN BEBAN PADA PAPAN HUBUNG BAGI – TEGANGAN RENDAH (PHB-TR) GARDU DISTRIBUSI DI PT.PLN (PERSERO) AREA TASIKMALAYA RAYON TASIK KOTA

Devi Ramadhan\* Wahyudi BP

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia  
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia  
deviramadhan7@gmail.com

PT. PLN (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang memiliki otoritas penuh dalam menjaga kontinuitas pendistribusian pasokan energi listrik kepada pelanggan. Salah satu indikator kinerja utama PLN di bidang distribusi yaitu susut (*losses*). Salah satu susut yang terjadi adalah akibat ketidaksetimbangan beban. Pemerataan beban pada Papan Hubung Bagi – Tegangan Rendah (PHB-TR) berfungsi untuk mengurangi rugi-rugi yang dialami oleh PLN Rayon Tasikmalaya Kota yang di akibatkan adanya arus mengalir pada saluran netral transformator. Gardu yang dipilih pada proses pemerataan ini adalah gardu Kampung Karang Anyar (KRA), Kp. Kampung Karang Anyar (KKRA), Sisipan gardu Karang Krikil (SKRK), Buana Karta Development Unit (BKDU) dipilih karena memiliki persentase diatas 10%. Penekanan susut energi pada saluran transmisi dari keempat gardu distribusi yang dipilih pada bulan November 2017 sebesar 45 kWh. Angka tersebut berdasarkan dari susut keempat gardu sebelum pemerataan sebesar 5,7 kW dan setelah pemerataan sebesar 5,4 kW. Rata-rata persentase dari selisih penurunan susut yang diakibatkan oleh adanya arus yang mengalir pada saluran netral di sisi sekunder transformator sebesar 52%. Kemudian total energi yang berhasil diturunkan dari pemerataan keempat gardu tersebut yang diakibatkan arus netral pada bulan November 2017 adalah sebesar 62,37 kWh. Perhitungan tersebut dilakukan ketika beban puncak (17.00-22.00).

Kata Kunci : Gardu Distribusi, *Losses*, Penyeimbangan Beban.

## I. Latar Belakang

PT. PLN (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang memiliki otoritas penuh dalam menjaga kontinuitas pendistribusian pasokan energi listrik kepada pelanggan. Salah satu indikator kinerja utama PLN di bidang distribusi yaitu susut (*losses*). Susut didefinisikan sebagai bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari banyaknya energi listrik yang dibangkitkan atau diproduksi dengan jumlah energi yang terjual.

Berdasarkan jenisnya susut dibagi menjadi dua, yaitu Susut Teknis dan Susut Non Teknis. Susut Teknis terjadi akibat hilangnya energi listrik pada penyaluran dalam distribusi saluran udara tegangan menengah (SUTM), saluran udara tegangan rendah (SUTR), trafo dan saluran rendah (SR). Sedangkan Susut Non Teknis adalah hilangnya energi listrik yang dikonsumsi pelanggan maupun non pelanggan karena tidak dapat terukur dalam penjualan. Susut adalah bentuk kerugian bagi perusahaan, karena susut merupakan energi yang terbuang. Oleh karena itu susut menjadi salah satu faktor yang harus ditekan untuk menjaga performa PLN sekaligus memaksimalkan pendapatan perusahaan.

Penelitian yang berjudul “Upaya Penurunan *Losses Energy* Berbasis Penyeimbangan Beban Pada Papan Hubung Bagi – Tegangan Rendah (PHB-TR) Gardu Distribusi di PT.PLN (PERSERO) Area Tasikmalaya Rayon Tasik Kota” dilatarbelakangi atas permasalahan yang terjadi pada kinerja PLN di bidang distribusi yaitu susut (*losses*) di area Tasikmalaya Rayon Tasik Kota. Upaya penurunan *losses energy* pada gardu distribusi berguna untuk menekan rugi-rugi daya yang ditimbulkan oleh ketidaksetimbangan beban. Upaya penurunan *losses energy* dapat dilakukan dengan cara memindahkan saluran dengan nilai arus terkecil pada jurusan satu disamakan dengan saluran dengan nilai arus terbesar pada jurusan lain maupun sebaliknya. Pemindahan jalur ini tidak terlalu ribet, karena dilakukan pada saat pengukuran atau pengecekan di lapangan.

## II. Studi Literatur

### a. Ketidaksetimbangan Beban Transformator

Ketidaksetimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidaksetimbangan tersebut adalah pada beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Ketidaksetimbangan akan menimbulkan terjadinya *losses*. Langkah permatama untuk mengetahui *losses* yang ditimbulkan akibat ketidaksetimbangan beban adalah dengan mencari arus beban penuh (*full load*) pada transformator dapat dilihat pada Persamaan 2.1 [7].

Devir  
Ramadhan

Wahyudi  
BP

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (1)$$

Dengan :

$I_{FL}$  = Arus beban penuh (A)

$S$  = Daya transformator (kVA)

$V$  = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Setelah diperoleh arus beban penuh (*full load*) , maka untuk mengetahui rata-rata setiap arus fasa pada gardu dapat diperoleh dari Persamaan 2 [1].

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2)$$

Dengan :

$I_{rata-rata}$  = Arus fasa rata-rata (A)

$I_R$  = Arus fasa R (A)

$I_S$  = Arus fasa S (A)

$I_T$  = Arus fasa T (A)

Kemudian untuk mengetahui persentase pembebanan transformator dapat menggunakan Persamaan 3 [1].

$$\%beban = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \quad (3)$$

Dengan:

$\%beban$  = Persentase pembebanan transformator (%)

Besar arus yang mengalir pada setiap fasa saluran distribusi dikarenakan pembebanan yang berbeda, maka dapat menimbulkan rugi-rugi. Rugi-rugi daya pada setiap fasa dapat diketahui menggunakan persamaan 4 [6].

$$P_{Losses} = I^2 \cdot R \quad (4)$$

Dengan:

$P_{Losses}$  = Rugi-rugi Setiap Fasa (Watt)

$I^2$  = Arus Saluran Perfasa (A)

$R$  = Resistansi Total Pada Saluran ( $\Omega$ )

Persentase ketidaksetimbangan beban pada setiap trafo gardu distribusi dapat diketahui melalui Persamaan 5 [8].

$$I_{unb} = \frac{\left| \left( \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \right) - 1 \right| + \left| \left( \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \right) - 1 \right| + \left| \left( \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \right) - 1 \right|}{3} \times 100 \quad (5)$$

Dengan:

$I_{unb}$  = Persentase Arus ketidaksetimbangan (%)

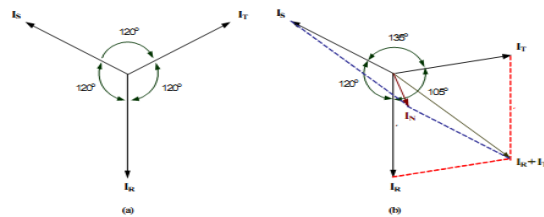
Ketidakseimbangan yang berakibat dari beban antar fasa R, S dan T, maka terbentuk arus yang mengalir di netral transformator. Arus netral yang mengalir pada penghantar trafo itu yang menyebabkan terjadi rugi-rugi (*losses*).

Keadaan yang dikatakan seimbang jika:

- Ketiga vektor tegangan atau arus sama besar.
- Ketiga vektor membentuk  $120^\circ$  antara satu dengan yang lain.
- Arus netral = 0

Sedangkan keadaan tidak seimbang adalah dimana syarat kedua atau salah satu keadaan tidak terpenuhi. Kemungkinan ketidakseimbangan ada 3, antara lain :

- Ketiga vektor besarnya sama tapi antara satu sama lain bentuknya tidak  $120^\circ$ .
- Ketiga vektor besarnya tidak sama tapi bentuknya  $120^\circ$  satu dengan yang lain.
- Ketiga vektor besarnya sama dan antara satu dengan yang lain tidak membentuk  $120^\circ$ .



Gambar 1 Vektor Diagram Arus [1]

Gambar 1 (a) menunjukkan vektor arus keadaan setimbang dan Gambar 1 (b) menunjukkan vektor arus tidakseimbang. Gambar 1 (a) dan 1 (b) menjelaskan nilai arus pada vektor  $I_R, I_S, dan I_T$ . Dimana pada Gambar 1 (a) nilai arusnya sama atau mendekati, sehingga terbentuk sudut  $120^\circ$  antara setiap fasanya. Hal ini mengakibatkan tidak ada arus netral yang terbentuk. Sedangkan pada Gambar 1 (b) nilai arusnya yang ditunjukkan tidak sama atau cukup jauh berbeda, sehingga tidak terbentuknya sudut  $120^\circ$  setiap fasanya. Hal ini menyebabkan timbulnya arus netral.

## b. Penurunan Susut Daya

Arus yang mengalir pada saluran netral transformator adalah rugi-rugi yang diakibatkan karena ketidaksetimbangan beban. Hasil penurunan susut daya dari pemerataan beban yang dilakukan untuk menekan rugi-rugi daya yang dipengaruhi oleh arus ketidaksetimbangan dapat dilihat pada Persamaan 6 [5].

$$P_{savings} = V \cdot I_{(selisih arus netral)} \times \cos \varphi \quad (6)$$

Dengan:

$P_{saving}$  = Penurunan susut daya (watt)

$V$  = Tegangan sumber (V)

$\cos \varphi$  = Power factor (0,85)

Setelah  $P_{saving}$  diketahui, maka untuk mengetahui nilai  $kWh_{saving}$  perbulan dari hasil penyeimbangan beban dapat dihitung menggunakan persamaan 7 [5].

$$kWh_{saving} = P_{saving} \times wbp \times 30 \quad (7)$$

Dimana:

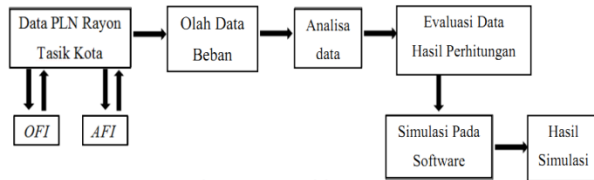
$kWh_{saving}$  = Daya kWh perbulannya (kWh/bulan)

$wbp$  = Waktu Beban Puncak (dari jam 17.00 – 22.00)

### III. Perancangan Sistem

#### a. Desain Sistem

Pada tahap ini, desain sistem dilakukan agar mempermudah dalam penyelesaian penelitian ini. Gambar 3.1 merupakan *block diagram* sistem penelitian.



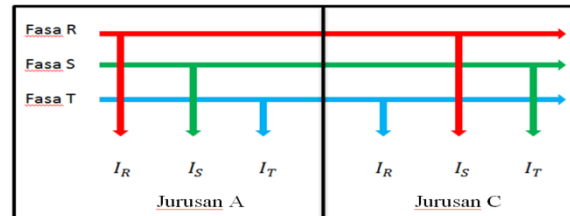
Gambar 1 *Block Diagram* Sistem

#### b. Pemerataan Beban

Dari hasil inspeksi penekanan susut pada penelitian di Rayon Tasik Kota, didapatkan proses penekanan susut ini dilakukan dengan melakukan pemerataan beban di gardu Kampung Karang Anyar (KRA), Kp. Kampung Karang Anyar (KKRA), Sisipan gardu Kampung Karikil (SKRK), dan Buana Karta *Develovment Unit* (BKDU) dilakukan pemerataan beban dengan mengubah beban di fasa yang tinggi dipindahkan ke fasa yang lebih rendah atau sebaliknya.

Contoh yang diambil pada penelitian ini adalah gardu SKRK jurusan C fasa R dirubah ke fasa T karena nilai fasa S jurusan C paling besar dan fase S jurusan A paling kecil, fasa S dirubah ke fasa T dan fasa T dirubah ke fasa R. Urutan fasanya tetap sama seperti RST, tetapi di rubah jalurnya menjadi TRS. Untuk gardu KRA fasa pada jurusan C dirubah menjadi STR, gardu KKRA fasa pada jurusan C dirubah menjadi STR dan gardu BKDU fasa pada jurusan D dirubah menjadi TRS. Perubahan fasa ini dilakukan dengan mengubah kabel R-S-T di bus bar PHB-TR. Pengubahan dilakukan dengan membuka

baut kontak antara kabel dan bus bar yang di ubah ke bus bar lainnya, kemudian ditutup kembali. Perubahan fasa ini dilakukan dengan mengubah kabel R-S-T di bus bar PHB-TR. Pengubahan dilakukan dengan membuka baut kontak antara kabel dan bus bar yang di ubah ke bus bar lainnya, kemudian ditutup kembali. Perubahan jalur ini dilakukan pada saat pengecekan rutin. Gambar 2 adalah contoh penyeimbangan gardu.

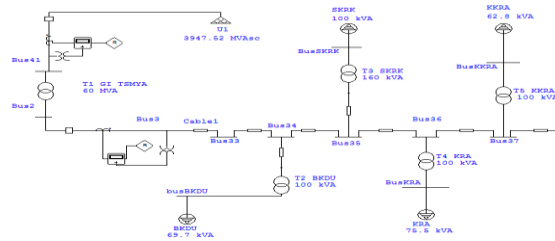


Gambar 2 Contoh Pemerataan Gardu

#### c. Simulasi ETAP 12.6

Pada bagian ini, dilakukan simulasi menggunakan software ETAP 12.6 dari data yang telah diperoleh. Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah menggunakan Persamaan 2 dan 5, selanjutnya data hasil perhitungan disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6.

Gambar 3 adalah simulasi ETAP 12.6 untuk penyulang Mangkubumi dengan beberapa pilihan gardu yang memiliki susut daya paling besar.



Gambar 3 Penyulang Mangkubumi Menggunakan Simulasi ETAP 12.6

### IV. Hasil dan Pembahasan

#### a. Perhitungan Kesetimbangan Beban

Upaya mengurangi susut pada PLN Tasikmalaya Rayon Tasik Kota adalah dengan cara pemerataan beban. Pemerataan beban yang dilakukan pada penyulang Mangkubumi ini memiliki susut teknis yang paling besar diantara penyulang lainnya di Rayon Tasik Kota. Untuk mengetahui persentase ketidaksetimbangan beban pada setiap gardu, maka digunakan Persamaan 2.2 dan 2.5. Hasil dari perhitungan persentase ketidaksetimbangan beban penyulang Mangkubumi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Persentase Ketidaksetimbangan Beban Penyulang Mangkubumi

GARDU	Sebelum Pemerataan			
	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	(A) Persentase (%)
BCK	221	259	253	6
CGG	192	219	228	6
CJH	190	161	152	8,3
DMKB	153	147	154	1,3
KRA	110	84	133	14,96
KRGN	118	146	146	8,3
KRK	263	215	222	7,6
PNIK	44	46	63	15
SMM	282	327	286	5,3
KKRA	77	145	50	39,6
SKRK	151	115	167	13
ASTA	166	174	209	9
BKDU	79	118	105	13

Dari Tabel 1 memperlihatkan bahwa gardu yang dikerjakan untuk pemerataan beban ini adalah gardu KRA, KKRA, SKRK, dan BKDU. Pada gardu tersebut terdapat nilai persentase ketidaksetimbangan beban di atas 10% dan terdapat dua jalur atau lebih.

Tabel 2 merupakan data gardu yang dilakukan pemerataan beban.

Tabel 2 Data Gardu Sebelum Pemerataan

Gardu	Jurusan	Hasil Pengukuran			(A) Persentase (%)
		$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	
KRA	A	71	70	107	14,96 %
	C	39	14	26	
	Total	110	84	113	
KKRA	A	63	110	31	39,6 %
	C	14	35	19	
	Total	77	145	50	
SKRK	A	92	51	77	13 %
	C	59	64	90	
	Total	151	115	167	
BKDU	B	1	10	12	13 %
	D	78	108	93	
	Total	79	118	105	

Tabel 3 merupakan hasil pengukuran lapangan yang telah dilakukan pemerataan menggunakan Persamaan 2 dan 5.

Tabel 3 Data Gardu Setelah Pemerataan

Gardu	Jurusan	Hasil Pengukuran (A)			(A) Persentase (%)
		$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	
KRA	A	71	70	107	7,3 %
	C	26	39	14	
	Total	97	109	121	
KKRA	A	63	110	31	24 %
	C	19	14	35	
	Total	82	124	66	
SKRK	A	92	51	77	5 %
	C	64	90	59	
	Total	156	141	136	
BKDU	B	1	10	12	6,6 %
	D	108	93	78	

Total	109	103	10	
-------	-----	-----	----	--

Tabel 3 adalah hasil dari perhitungan yang telah dilakukan pemerataan beban menggunakan persamaan 2 dan 5. Dari hasil tersebut diperoleh hasil ketidaksetimbangan (%) yang lebih kecil dari Tabel 2 data gardu sebelum dilakukan pemerataan. Kemudian data tersebut disimulasikan menggunakan ETAP 12.6.

### b. Losses (Rugi-Rugi)

Tabel 4 adalah hasil simulasi gardu distribusi menggunakan ETAP 12.6 terhadap losses pada jaringan distribusi penyulang Mangkubumi.

Tabel 4 Perbandingan Losses Report

CKT / Branch	Phase	Rugi-Rugi Sebelum Pemerataan		Rugi-Rugi Setelah Pemerataan	
		kW	kVAR	kW	kVAR
BKDU	A	0,3	0,5	0,5	0,8
	B	0,6	0,9	0,4	0,7
	C	0,4	0,8	0,3	0,6
SKRK	A	0,6	1,0	0,6	1,1
	B	0,4	0,7	0,5	0,9
	C	0,7	1,2	0,5	0,9
KRA	A	0,5	0,8	0,4	0,7
	B	0,3	0,5	0,5	0,8
	C	0,7	1,1	0,6	1,0
KKRA	A	0,3	0,5	0,3	0,5
	B	0,8	1,3	0,6	1,0
	C	0,1	0,3	0,2	0,4

Dari hasil simulasi ETAP 12.6, bahwa pada saat sebelum dilakukan pemerataan beban terdapat total losses sebesar 5,7 kW dan setelah dilakukan pemerataan beban, total nilai losses yang terdapat pada penyulang Mangkubumi sebesar 5,4 kW. Daya yang berhasil diturunkan dari total losses sebelum dan setelah pemerataan sebesar 0,3 kW. Kemudian total energi (kWh) yang berhasil diturunkan dari total losses sebelum dan setelah pemerataan beban dapat menggunakan persamaan 7 pada bulan November 2017 sebesar 45 kWh. Dikarenakan adanya ketidaksetimbangan antara setiap fasa pada sisi sekunder transformator, maka menyebabkan timbul arus yang mengalir pada penghantar netral transformator. Tabel 5 adalah perbandingan arus netral gardu distribusi.

Tabel 5 Arus Netral Gardu Distribusi

Gardu	Sebelum Diseimbangkan	Setelah Diseimbangkan	Selisih Arus Netral	Persentase (%)
	Arus Netral ( $I_N$ )	Arus Netral ( $I_N$ )	Arus Netral ( $I_N$ )	
KRA	0,9 A	0,4 A	0,5 A	55,55
KKRA	1,7 A	1,1 A	0,6 A	35,29
SKRK	1,0 A	0,4 A	0,6 A	60
BKDU	0,7 A	0,3 A	0,4 A	57,14
Rata-Rata				52

Dari hasil pemerataan beban, penekanan rugi-rugi pada saluran netral transformator menggunakan Persamaan 6 maka dapat dilihat pada Tabel 6 kolom  $P_{saving}$  (kW).

Tabel 6 Penghematan Daya Gardu Distribusi

Gardu	$P_{saving}$ (kW)	$kWh_{saving}$
KRA	0,099	14,85
KKRA	0,1188	17,82
SKRK	0,1188	17,82
BKDU	0,0792	11,88
<b>Total</b>	<b>0,4158</b>	<b>62,37</b>

Untuk mengetahui nilai  $kWh_{saving}$  perbulannya dapat menggunakan Persamaan 7. Perbandingan rugi-rugi daya yang hilang dikarenakan terjadinya penyusutan pada saluran akibat ketidakseimbangan beban perbulannya dapat dilihat pada Tabel 6 kolom  $kWh_{saving}$ .

Setelah diketahui hasil pemerataan beban, penghematan tegangan nominal yang didapat dari perbandingan sebelum dan setelah penyeimbangan beban pada bulan November 2017 sebesar 62,37 kWh. Perhitungan ini dilakukan pada keadaan waktu beban puncak (WBP).

## V. Kesimpulan dan Saran

### a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penurunan rugi-rugi daya yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada bulan November 2017 total penekanan susut (*losses*) dari setiap fasa pada keempat gardu di Penyulang Mangkubumi sebesar 45 kWh.
2. Selisih persentase arus yang mengalir pada sisi sekunder saluran netral transformator berhasil diturunkan dengan nilai rata-rata sebesar 52%.
3. Total *Saving* rugi-rugi daya dari hasil pemerataan beban Penyulang Mngkubumi pada bulan November 2017 sebesar 62,37 kWh. Perhitungan ini dilakukan pada keadaan waktu beban puncak (WBP).

### b. Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan penulis, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan sebagai saran:

1. Data *meeting* trafo perlu dilakukan setiap adanya pembaharuan data, baik dari nilai arus, tegangan, daya, faktor daya maupun manuver-manuver yang sedang dilakukan.
2. Perlu dilakukan inspeksi dengan *thermovision* pada pemeliharaan penyulang baik itu JTM atau

JTR. Hal ini dilakukan agar dapat mengurangi kondisi *losses* kontak yang mengakibatkan rugi-rugi.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moh. Dahlan, "Akibat Ketidakseimbangan Beban Akibat Arus Netral dan *Losses* Pada Transformator Distribusi". Universitas Muria Kudus, 2016.
- [2] S. Hariyadi, "Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Pada Gardu Induk Palur – Masaran," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [3] S. Krishnamoorthy dan D. Jayabal, "Evaluation of transformer loading and energy loss for increasing energy efficiency in distribution system," 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2015.
- [4] Safrizal, "Automatic Power Factor Control (APFC) Capacitor Shunt Untuk Optimalisasi Daya Reaktif Menggunakan Metode Invoice (Case Study PDAM)," Universitas Islam Nahdatul Ulama, 2015.
- [5] Suhadi, dkk, "Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1," 2008 Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [6] A. Kadir, "Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik," 2000 Jakarta, UI-Press, 2000.
- [7] G. P. Shultz, *Transformers and motors: a single-source reference for electricians*. Carmel, IN: Sams, 1989.
- [8] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.