

REKONFIGURASI JTR AKIBAT TINGGINYA RUGI DAYA DAN JATUH TEGANGAN PADA AREA BTN HAMZY DAN BTN ANTARA

Kurniawati Naim, Naelly Muhtar¹⁾, Nurismawati, Irvan Setiawan²⁾

ABSTRAK:Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rugi daya dan jatuh tegangan pada BTN Hamzy dan BTN Antara serta cara merekonfigurasi JTR pada kedua BTN tersebut. Rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem tenaga listrik khususnya pada jaringan distribusi merupakan suatu hal yang tidak bisa di hindari, namun dapat di minimalisir dengan cara-cara tertentu. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi *literature* yang berkaitan dengan rugi daya dan jatuh tegangan. Kedua adalah melakukan pengukuran langsung di lapangan yaitu pada GT.IPT.001 dan GT.IPT.002 untuk BTN Hamzy dan GT.IPT.003 untuk BTN Antara. Ketiga ialah menghitung rugi daya dan jatuh tegangan serta merekonfigurasi JTR pada BTN Hamzy dan BTN Antara agar bisa meminimalisir rugi daya dan jatuh tegangan. Dari hasil penelitian di peroleh Jatuh Tegangan pada BTN Hamzy sebesar 31,14 V sedangkan pada BTN Antara sebesar 20,69 V. Rugi Daya pada BTN Hamzy sebesar 6.645,12 W sedangkan pada BTN Antara sebesar 2.214,99 W. pengukuran pada pukul 19.11 WITA. Upaya meminimalisir rugi daya dan jatuh tegangan (*losses*) dengan menambahkan trafo sisipan atau dengan cara penyeimbangan beban transformator sehingga daya dan tegangan yang di salurkan kepada konsumen efektif dan efisien serta sesuai standar.

Kata kunci : Rugi daya dan Jatuh tegangan.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Tenaga listrik juga harus selalu tersedia dalam jumlah yang cukup pada waktu yang tepat, salah satu pemasok energi listrik ialah PLN. Kualitas kelistrikan sangatlah penting, Rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi harus diminimalisir sehingga kualitas dapat dioptimalkan. Begitu juga dengan jatuh tegangan, jatuh tegangan dapat mengakibatkan pihak PLN selaku produsen dan masyarakat selaku konsumen merugi karena bagi pihak PLN, jatuh tegangan (*voltage drop*) akan mengakibatkan

penurunan daya sehingga dalam hal kualitas dan keuntungan akan menurun dan bagi pihak konsumen, dapat merusak peralatan-peralatan elektronik.

Metode yang di gunakan untuk menganalisa keseimbangan beban salah satunya dengan menghitung nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penghantar jaringan distribusi. Permasalahan yang terjadi pada penyaluran energi listrik pada sistem distribusi salah satu nya adalah jatuh tegangan yang akan mempengaruhi penyaluran energi listrik kepada konsumen dimana jika terjadi jatuh tegangan pada sistem distribusi maka energi listrik yang akan disalurkan kepada konsumen tidak

Sesuai dengan SPLN No. 72 tahun 1987, dimana jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam penyaluran distribusi hanya boleh sebesar 5% untuk jaringan udara SUTM sedangkan untuk jaringan distribusi bawah SKTM sebesar 2%.

Rugi-rugi daya yang terjadi pada JTR biasanya karena timbulnya panas pada trafo dan penghantar sehingga kemungkinan kerusakan alat akan jauh lebih tinggi. Kemudian hal yang biasa terjadi pada kompleks perumahan khususnya area BTN Hamzy dan BTN Antara adalah jatuh tegangan. Bila Jatuh tegangan melebihi 10% sehingga arusnya besar jika berlangsung secara terus menerus dapat menyebabkan kerusakan pada alat-alat listrik, karena jatuh tegangan dapat menurunkan tegangan pada beban sehingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Jatuh tegangan juga dapat menyebabkan kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban baik pihak PLN maupun pihak konsumen pasti dirugikan dengan adanya rugi daya dan jatuh tegangan ini. Rugi-rugi daya dan jatuh tegangan ini tidak bisa dihilangkan, hanya bisa diminimalisir sehingga mencapai batas toleransi yang diizinkan.

Dalam Laporan penelitian Naim (2015) mengenai rugi-rugi daya dan Jatuh tegangan pada BTN Hamzy dan BTN Antara. Rerata rugi-rugi daya pada tahun 2015 BTN Hamzy adalah 19,896 kW atau 22,35% dan pada BTN Antara sebesar 13,47 kW atau 16,98%. Kemudian rerata jatuh tegangan pada BTN Hamzy adalah 46,61 volt atau 20,09% dan pada perumahan BTN Antara adalah 35,49 volt atau 15,29 %. Berdasarkan data tersebut maka perlu adanya Rekonfigurasi jaringan tegangan rendah (JTR) pada BTN Hamzy dan BTN Antara.

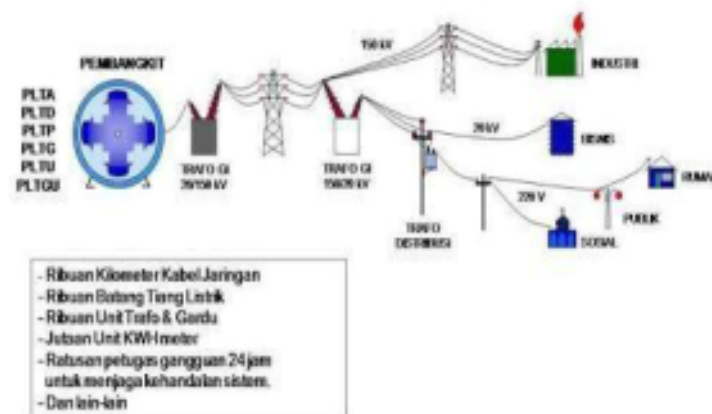
Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem distribusi JTR area BTN Hamzy dan BTN Antara.

A Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah suatu sistem yang dapat menyalurkan daya dari sumber daya besar ke konsumen (relatif). Fungsi sistem distribusi adalah menyalurkan daya dari sumber daya besar ke konsumen sumber daya listrik secara kontinyu, sesuai dengan tegangan kerjanya. Konfigurasi jaringan distribusi primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinyuitas pelayanannya.

Sistem Tenaga Listrik adalah sekumpulan pusat-pusat listrik yang interkoneksi satu dengan lainnya, melalui transmisi atau distribusi untuk memasok beban atau dari satu pusat listrik dimana mempunyai unit generator yang di paralel. Karena pusat-

pusat listrik jauh di luar pusat beban, agar pasokan tenaga listrik tetap stabil terutama tegangan dan frekuensi, di butuhkan tegangan tinggi.



Gambar 1 Sistem Tenaga Listrik (Sarimun, 2011).

Menurut Surat Keputusan Menteri Keuangan Nomor: 431/KMK.06/2002

Adapun jenis jaringan primer yang biasa di gunakan di indonesia ada 4 yaitu:

- i. Jaringan Distribusi Pola Radial
- ii. Jaringan Distribusi Loop
- iii. Jaringan Distribusi Pola Grid

B. Rugi Daya

Rugi Daya (*losses*) dalam sistem kelistrikan merupakan sesuatu yang sudah pasti terjadi. Pada dasarnya, rugi daya adalah selisih antara jumlah energi listrik yang dibangkitkan dengan jumlah energi listrik yang sampai ke konsumen.

(2002:4), “Rugi daya adalah gangguan dalam sistem dimana sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran listrik mulai dari gardu induk sampai ke konsumen. Apabila tidak terdapat gardu induk, rugi daya dimulai dari gardu distribusi sampai dengan konsumen”

Perhitungan daya dapat dilihat sebagai berikut :

$$P = \frac{20000}{\sqrt{3}} I (I_1 + I_2 + I_3) \cos \theta \quad (1)$$

Analisis rugi daya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta P = I_{\text{beban}}^2 \times R \quad (2)$$

Dengan

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana :

ΔP : Rugi-rugi daya total (watt)

I_{beban} : Arus (A)

R : Resistansi Saluran (Ω)

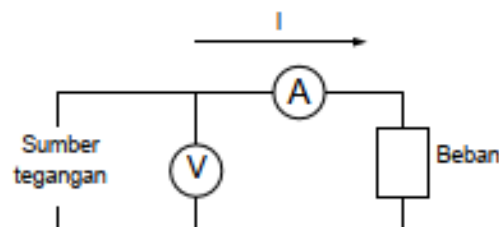
L : Panjang Penghantar (m)

$\text{Cos } \theta$: faktor daya beban 0,85

C. Jatuh Tegangan

Memurut buku panduan PT.PLN (Persero) (2010 : 20), “Susut tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar.” Pendapat serupa juga dikemukakan oleh Fauzi (2015 : 3), “Susut tegangan atau rugi tegangan (*voltage drop*) adalah berkurangnya tegangan masukan yang terjadi pada suatu penghantar atau gawai yang dilalui arus listrik.”

Berbeda dengan kedua pendapat diatas, adapun pendapat lain yang dikemukakan oleh Karnoto dan Handoko (2015 : 3), “Susut tegangan adalah sebuah permasalahan yang terjadi pada penyaluran energi listrik pada sistem distribusi dimana susut tegangan akan mempengaruhi penyaluran energi listrik kepada konsumen.”



Gambar 2. Arah arus

Berdasarkan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN 1 : 1995), “Perancangan jaringan dibuat agar susut tegangan di ujung diterima 10% dari tegangan nominal. Susut tegangan pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan dan reaktansi listrik.”

Rumus untuk mencari besarnya tegangan ialah berdasarkan Hukum Ohm, yaitu :

$$V = I \times R \quad (5)$$

Ket : V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

R: Tahanan (Ohm)

Nilai Jatuh Tegangan :

$$\Delta V = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (6)$$

Ket. ΔV : Susut Tegangan (Volt)
 $\cos \theta$: Faktor daya beban 0,85
 X : Reaktansi (Ohm)
 $\sin \theta$: Faktor daya beban 0,53

Persentase Nilai Jatuh Tegangan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (7)$$

Ket : $\% \Delta V$: Persentase Nilai Jatuh Tegangan (Volt)
 ΔV : Susut Tegangan (Volt)

METODE PENELITIAN

Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur. Waktu pelaksanaan Penelitian di mulai pada bulan Februari sampai dengan bulan April 2016.

Prosedur Penelitian

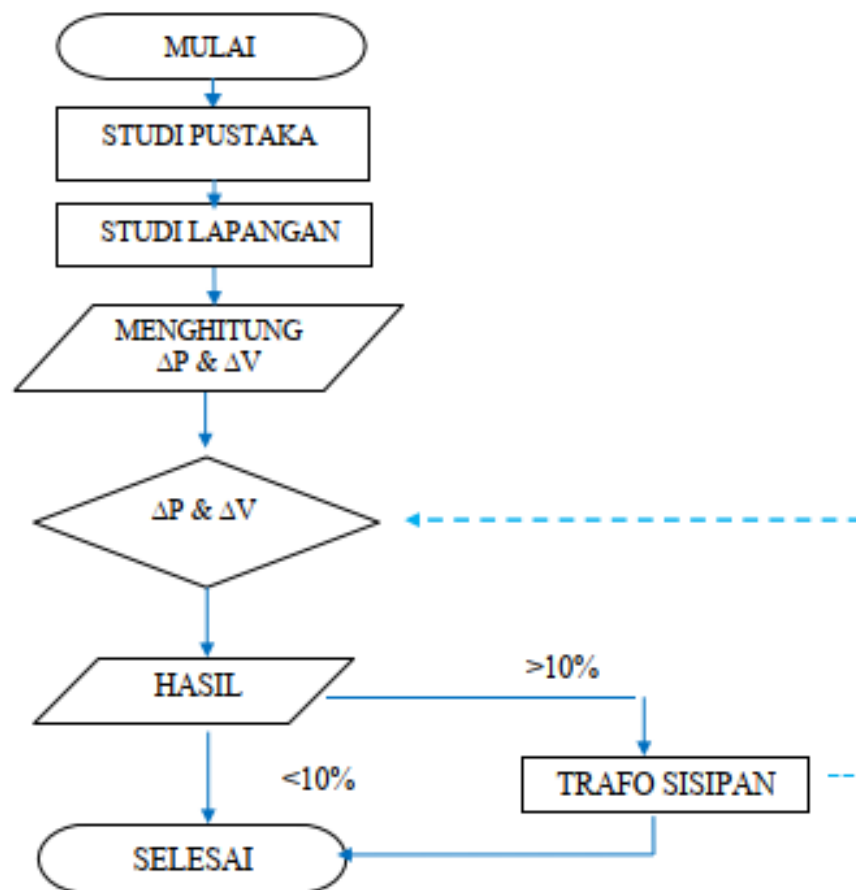
Penelitian di mulai dengan *Library Research* atau studi pustaka. Mengumpulkan, membaca, mempelajari *literature* dan catatan untuk memperoleh data yang bersifat teoritis. Studi pustaka ini bertujuan untuk

mempelajari tentang rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada JTR (Distribusi).

Tahapan selanjutnya ialah *Field Research* atau studi lapangan. Melakukan survey lapangan di PT. PLN (Persero) Rayon Timur.

Pada tahap analisis Rugi Daya dan Jatuh Tegangan dengan cara mengumpulkan data, kegiatan yang di lakukan ialah mengunjungi lokasi yang secara teknis sebagai objek penulisan Tugas Akhir yakni *feeder* Poltek.

Kemudian melakukan wawancara dengan staf dan teknisi yang bersangkutan dan mencari data-data yang di perlukan. menggunakan perhitungan dengan aplikasi *Microsoft Excel*. Apabila rugi daya dan jatuh tegangan nya lebih dari 10 % maka di rekonfigurasi dengan menggunakan trafo sisipan agar mengurangi tingginya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya serta dapat semaksimal mungkin sesuai dengan standar SPLN no 1 Tahun 1995. Kemudian penelitian mengenai rugi daya dan jatuh tegangan pada BTN Hamzy dan BTN Antara selesai. Hal ini terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Diagram alir Penelitian

3.3 Metode Pengolahan Data

Setelah memperoleh Data hasil penelitian, kemudian mengklasifikasikan permasalahan pada BTN Hamzy dan BTN Antara sehingga di peroleh solusi yang efektif dan efisien. Data yang di peroleh akan di analisis dengan menggunakan persamaan-persamaan rugi daya dan jatuh tegangan. Adapun persamaannya sebagai berikut:

Perhitungan nilai R :

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (4)$$

- Ket : ρ : Tahanan Jenis (Ω/km)
 R : Resistansi Saluran (Ω)
 L : Panjang Penghantar (m)
 A : Luas Penampang Penghantar (mm^2)

Nilai Jatuh Tegangan :

$$\Delta V = I (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (5)$$

Persentase Nilai Jatuh Tegangan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (6)$$

Ket : % ΔV : Persentase Nilai Jatuh Tegangan (Volt)

ΔV : Susut Tegangan (Volt)

Perhitungan Daya yang Tersalurkan :

$$P = V (I_R + I_S + I_T) \cos \phi \quad (7)$$

$$\Delta P = (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R \quad (8)$$

Dimana :

P : Daya (W)

V : Tegangan Fasa-Netral (V)

Persentase Rugi Daya :

$$\%P = P / \Delta P \times 100\% \quad (9)$$

Dimana :

ΔP : Rugi-rugi daya total (watt)

P : Daya Yang Tersalurkan (W)

Untuk mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada perumahan BTN Hamzy dan BTN Antara di gunakan rumus :

Overload = %Pembebanan Trafo -

$$\% \text{Standar Pembebanan Trafo} \quad (10)$$

$$L = \frac{10 \% \times V_{LVC}}{I_{\text{Beban Puncak}} \times R_{\text{saluran}}} \quad (11)$$

Ket. L: Jarak Ideal Penempatan Trafo Sisipan (Ms)

V_{LVC} : Kapasitas Trafo Utama (V)

$I_{\text{Beban Puncak}}$: Arus Waktu Beban Puncak (A)

R_{saluran} : Tahanan Penghantar (Ohm)

Data yang di peroleh akan di hitung, baik secara manual maupun diproses di *Microsoft Excel*. Setelah memperoleh nilai rugi daya dan jatuh tegangan maka peneliti dapat memperkecil nilainya dengan menambahkan Trafo Sisipan pada BTN Hamzy dan BTN Antara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Penyulang Poltek termasuk dalam area PT. PLN (Persero) Rayon Timur yang di *supply* dari Gardu Induk Tello 150 Kv. Panjang JUTR *feeder* Poltek ialah 4185 kms. Penyulang-penyulang yang termasuk dalam cakupan PT. PLN (Persero) Rayon Timur ialah:

1. P. Poltek
2. P. Unhas
3. P. Tamalanrea
4. P. MTos
5. P. Kima
6. P. Effem
7. P. Sanmaru
8. P. Aluminium
9. P. Salodong
10. P. Bontoa
11. P. Tol
12. P. Ujung Pandang
13. P. Gombara
14. P. Paccerakkang
15. P. Baddoka
16. P. Sanrangan
17. P. Kapasa

18. P. Golf

19. P. Wika, dan 20. P. Phokpand

Tabel 1 Data Transformator distribusi BTN Hamzy & BTN Antara

NO / GARDU		GT. IPT 001
A		B
LOKASI		Jl. P. KEM 3 BTN HAMZY BLOK B
KAPASITAS TRANSFORMATOR 3F (kVA)		400
TANGGAL PENGUKURAN		25-Jan-16
PUKUL		19:11
ARUS (A)	(R)	480
	(S)	482
	(T)	408
	(N)	139
TEGANGAN	PHB (F-N)	231
	PHB (F-F)	389
BEBAN (kVA)	(R)	110,9
	(S)	111,3
	(T)	94,2

NO / GARDU		GT. IPT 002	GT. IPT 003
A		B	C
LOKASI		BTN. ANTARA	BTN ANTARA
KAPASITAS TRANSFORMATOR 3F (kVA)		100	315
TANGGAL PENGUKURAN		25-Jan-16	25-Jan-16
PUKUL		19:17	19:23
ARUS (A)	(R)	296	114
	(S)	259	28
	(T)	389	114
	(N)	141	102
TEGANGAN	PHB (F-N)	231	231
	PHB (F-F)	389	389
BEBAN (kVA)	(R)	68,4	26,3
	(S)	59,8	6,5
	(T)	89,9	27,5

4.2 Analisis Data

A. Jatuh Tegangan

Jatuh Tegangan pada GT.IPT 001 Line A (BTN Hamzy)

Dik : Resistansi Jenis Al (ρ) = 28,25 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$

Reaktansi Jenis Al = 0,1 Ω/km

$L_{tot\ hamzy} = 2688\ ms = 2,688\ kms$

$L_{tot\ antara} = 3066\ ms = 3,066\ kms$

$L_A = 420\ ms = 0.42\ kms$

$X = 0,1 \times 0.42 = 0,042\ \Omega$

$A = 70\ mm^2$

$R = \rho \frac{L}{A}$

$= 28,25 \times \frac{0,42}{70} = 0,16\ \Omega/km$

$\Delta V = I (R \cos \phi + X \sin \phi)$

$= 97(0,16 \times 0,85 + 0,042 \times 0,53)$

$= 97(0,136 + 0,02226)$

$= 97(0,1582) = 15.35\ V$

$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$

$= \frac{15.34}{231} \times 100\% = 6.65\%$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai jatuh tegangan yang terjadi di perumahan BTN Hamzy dan BTN Antara lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan di perumahan BTN Hamzy & BTN Antara

No.	Kode Gardu	I (A)	R (Ω)	Cos φ	L (kms)	X (Ω)	Sin φ	ΔV	V	%Δ V
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	GT-IPT001 B Line A	97	0.16	0.85	0.42	0.042	0.53	15.35	231	6.65
2	GT-IPT001 Line B	185	0.4	0.85	1.008	0.1008	0.53	72.78	231	31.51
3	GT-IPT001 Line C	8	0.05	0.85	0.126	0.0126	0.53	0.39	231	0.17
4	GT-IPT001 Line D	246	0.45	0.85	1.134	0.1134	0.53	108.88	231	47.13
5	GT-IPT002 Line A	114	0.08	0.85	0.21	0.021	0.53	9.02	231	3.91
6	GT-IPT002 Line B	17	0.06	0.85	0.168	0.0168	0.53	1.02	231	0.44
7	GT-IPT003 Line A	119	0.06	0.85	0.168	0.0168	0.53	7.13	231	3.09
8	GT-IPT003 Line B	15	0.38	0.85	0.966	0.0966	0.53	5.61	231	2.43
9	GT-IPT003 Line C	150	0.4	0.85	1.008	0.1008	0.53	59.01	231	25.55
10	GT-IPT003 Line D	124	0.19	0.85	0.546	0.0546	0.53	23.61	231	10.22

Dapat pula di hitung Jatuh Tegangan dengan menggunakan Rumus :

$$\Delta V = 2.I.R = 2.I.\rho \frac{L}{A}$$

Jatuh Tegangan pada GT.IPT 001 Line A (BTN Hamzy)

$$\Delta V = 2 \times 97 \times 0,16$$

$$= 31,04 \text{ V.}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai jatuh tegangan yang terjadi di perumahan BTN Hamzy dan BTN Antara lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 3 Perbandingan Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan di perumahan BTN Hamzy & BTN Antara

No.	Kode Gardu	I(A)	R(Ω)	ΔV	V	%ΔV
1	GT-IPT001 Line A	97	0.16	31.04	231	13.44
2	GT-IPT001 Line B	185	0.4	148.00	231	64.07
3	GT-IPT001 Line C	8	0.05	0.80	231	0.35
4	GT-IPT001 Line D	246	0.45	221.40	231	95.84
5	GT-IPT002 Line A	114	0.08	18.24	231	7.90
6	GT-IPT002 Line B	17	0.06	2.04	231	0.88
7	GT-IPT003 Line A	119	0.06	14.28	231	6.18
8	GT-IPT003 Line B	15	0.38	11.40	231	4.94
9	GT-IPT003 Line C	150	0.19	57.00	231	24.68
10	GT-IPT003 Line D	124	0.4	99.20	231	42.94

B. Rugi Daya

- Rugi Daya pada GT. IPT 001 Line A (BTN Hamzy)

Daya yang tersalurkan $P = V (I_R + I_S + I_T) \cos \phi$

$$P = 231 (97 + 43 + 62) 0,85$$

$$P = 231 (202) 0,85 = 39662,7 \text{ W}$$

$\Delta p = (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R$

$$= (97^2 + 43^2 + 62^2) 0,16$$

$$= (9409 + 1849 + 3844) 0,16$$

$$= (15102) 0,16 = 2416,32 \text{ W}$$

$$\% \text{ Rugi Daya} = \frac{\text{Rugi Daya}}{\text{Daya yang tersalurkan}} \times 100\%$$

$$= \frac{2416,32}{39662,7} = 6,09 \%$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil perhitungan rugi daya yang terjadi di perumahan BTN Hamzy & BTN Antara lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.4 di bawah.

Tabel 4 Perhitungan Rugi Daya di perumahan BTN Hamzy dan BTN Antara

No.	Kode Gardu	V	Ir (A)	Is (A)	It (A)	R (Ω)	cos φ	ΔP (Watt)	P (kW)	%ΔP
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	GT-IPT001 Line A	231	97	43	62	0.16	0.85	2416.32	39662.7	6.09
2	GT-IPT001 Line B	231	140	185	174	0.4	0.85	33640.40	97978.65	34.33
3	GT-IPT001 Line C	231	0	8	0	0.05	0.85	3.20	1570.8	0.20
4	GT-IPT001 Line D	231	243	246	172	0.45	0.85	67117.05	129787.35	51.71
5	GT- IPT002 Line A	231	97	28	114	0.08	0.85	1855.12	46927.65	3.95
6	GT-IPT002 Line B	231	17	0	5	0.06	0.85	18.84	4319.7	0.44
7	GT-IPT003 Line A	231	67	55	119	0.06	0.85	1300.50	47320.35	2.75
8	GT-IPT003B Line B	231	0	15	12	0.38	0.85	140.22	5301.45	2.64
A		C	D	E	F	G	H	I	J	K
9	GT-IPT003 Line C	231	105	121	150	0.4	0.85	19266.40	73827.6	26.10
10	GT-IPT003 Line D	231	124	68	108	0.19	0.85	6016.16	58905	10.21

4.3 Rekonfigurasi Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Pada BTN Hamzy dan BTN Antara

Cara memperbaiki (merekonfigurasi) jatuh tegangan dan rugi daya pada BTN Hamzy dan BTN Antara yaitu menggunakan Trafo Sisipan .

- Trafo Sisipan Di BTN Hamzy

Pada GT.IPT.001 Line B dan Line D di BTN Hamzy. Besar presentase pembebanan transformator menggunakan dasar data pengukuran yaitu 79,1 %, sehingga dapat dihitung kelebihan bebannya yaitu :

$$79,1 \% - 68,7 \% = 10,4 \%$$

Untuk pengalihan Beban trafo GT.IP.001 masing-masing I beban setiap fasa di Line B di ambil 30 A dalam 1 Line yakni Line BS, Sedangkan pada Line D di ambil 70 A yang di bagi dalam 2 Line yakni Line DS1 dan DS2 agar jatuh tegangan, rugi daya dan persentase pembebanan trafo sesuai dengan standar.

Jatuh Tegangan pada GT.IPT 001 Line B & D (BTN Hamzy)

Dik : Resistansi Jenis Al (ρ) = 28,25 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$

Reaktansi Jenis Al = 0,1 Ω/km

$$L_{\text{tot hamzy}} = 2688 \text{ ms} = 2,688 \text{ kms}$$

$$L_B = 1008 \text{ ms} = 1,008 \text{ kms}$$

$$L_c = 1134 \text{ ms} = 1,134 \text{ kms} = 185(0,34 + 0,053424)$$

$$X_B = 0,1 \times 1,008 = 0,1008 \Omega = 185(0,393424) = 72,78 \text{ V}$$

$$X_C = 0,1 \times 1,134 = 0,1134 \Omega$$

$$A = 70 \text{ mm}^2$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = 28,25 \times \frac{1,008}{70} = 0,4 \Omega/\text{km}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$$

$$= \frac{72,78}{231} \times 100\% = 31,51\%$$

$$\Delta V = I (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

$$= 185(0,4 \times 0,85 + 0,1008 \times 0,53)$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai jatuh tegangan pada Line D lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5 Jatuh Tegangan Pada BTN Hamzy Line B & Line D

No.	Kode Gardu	I(A)	R(Ω)	cos φ	L (kms)	X(Ω)	sin φ	ΔV	V	%ΔV
1	GT-IPT001 Line B1	185	0.4	0.85	1.008	0.1008	0.53	72.78	231	31.51
2	GT-IPT001 Line D1	246	0.45	0.85	1.134	0.1134	0.53	108.88	231	47.13

Jatuh Tegangan pada GT.IPT 001 Line B & D Setelah Pemasangan Trafo Sisipan

Dik : Resistansi Jenis Al (ρ) = 28,25 Ωmm²/km

Reaktansi Jenis Al = 0,1 Ω/km
 L_{tot hamzy} = 2688 ms = 2,688 kms

L_B = 1008 ms = 1,008 kms

L_c = 1134 ms = 1,134 kms

X_B = 0,1 × 0,294 = 0,0294 Ω

X_C = 0,1 × 0,294 = 0,0294 Ω

A = 70 mm²

$$R = \rho \frac{L}{A} = 28,25 \times \frac{0,294}{70} = 0,12 \Omega/\text{km}$$

$$\Delta V = I (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

$$= 176(0,12 \times 0,85 + 0,0294 \times 0,53)$$

$$= 176(0,102 + 0,015582)$$

$$= 176(0,117582) = 20,69 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$$

$$= \frac{20,69}{231} \times 100\% = 8,96\%$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai jatuh tegangan pada Line B & D setelah pemasangan Trafo Sisipan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah ini.

Table 6 nilai Jatuh Tegangan pada Line B & D setelah pemasangan trafo sisipan

No.	Kode Gardu	I (A)	R (Ω)	Cos φ	L (kms)	X (Ω)	sin φ	ΔV	V	%ΔV
1	GT-IPT001 Line B2	176	0.12	0.85	0.294	0.0294	0.53	20.69	231	8.96
2	GT-IPT001 Line D2	174	0.12	0.85	0.294	0.0294	0.53	20.46	231	8.86
3	GT-IPT001 Line BS	30	0.29	0.85	0.714	0.0714	0.53	8.53	231	3.69
4	GT-IPT001 Line DS1	35	0.17	0.85	0.42	0.042	0.53	5.84	231	2.53
5	GT-IPT001 Line DS2	35	0.17	0.85	0.42	0.042	0.53	5.84	231	2.53

- Rugi Daya pada GT. IPT 001 Line B
(BTN Hamzy)

Daya yang tersalurkan = $V (I_R + I_S + I_T)$
Cos φ

$$= 231 (140 + 185 + 174) 0,85$$

$$= 231 (499) 0,85 = 97978,65 \text{ W}$$

$$\Delta p = (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R$$

$$= (140^2 + 185^2 + 174^2) 0,4$$

$$= (19600 + 34225 + 30276) 0,4$$

$$= (84101) 0,4 = 33604,40 \text{ W}$$

$$\% \text{ Rugi Daya} = \frac{\text{Rugi Daya}}{\text{Daya yang tersalurkan}} \times$$

$$100\% = \frac{3364,40}{97978,65} \times 100\% = 34,33 \%$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil perhitungan rugi daya yang terjadi di Line B & D lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 7 Rugi Daya pada Line B & D GT.IPT.001

NO	Kode Gardu	V	I _r (A)	I _s (A)	I _t (A)	R (Ω)	L (kms)	cos φ	ΔP (Watt)	P (kW)	%ΔP
1	GT-IPT001 Line B	231	140	185	174	0.4	1.008	0.85	33640.40	97978.65	34.33
2	GT-IPT001 Line D	231	243	246	172	0.45	1.134	0.85	67117.05	129787.35	51.71

Rugi Daya pada GT. IPT 001 Line B
(BTN Hamzy)

$$\begin{aligned} \text{Daya yang tersalurkan} &= V (I_R + I_S \\ &+ I_T) \text{ Cos } \phi \\ &= 231 (110 + 155 + 144) 0,85 \end{aligned}$$

$$= 231 (409) 0,85 = 80307,15 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R \\ &= (110^2 + 155^2 + 144^2) 0,12 \\ &= (12100 + 24025 + 20736) 0,12 \\ &= (56861) 0,12 = 6823,32 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Rugi Daya} &= \frac{\text{Rugi Daya}}{\text{Daya yang tersalurkan}} \times \\ &100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{6823,32}{80307,15} \times 100\% \\ &= 8,50 \% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil perhitungan rugi daya yang terjadi di Line B & D setelah pemasangan Trafo Sisipan berkapasitas 60 kVA lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8 Rugi Daya pada Line B & D setelah pemasangan trafo sisipan

NO	Kode Gardu	V (volt)	I _r (A)	I _s (A)	I _t (A)	R (Ω)	L (kms)	cos φ	ΔP (Watt)	P (kW)	%ΔP
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	GT-IPT001 Line B2	231	110	155	144	0.12	0.294	0.85	6823.32	80307.15	8.50
2	GT-IPT001 Line D2	231	173	178	102	0.12	0.294	0.85	8642.04	88946.55	9.72
3	GT-IPT001 Line BS	231	30	30	30	0.29	0.716	0.85	783.00	17671.5	4.43
4	GT-IPT001 Line DS1	231	35	35	35	0.17	0.42	0.85	624.75	20616.75	3.03
5	GT-IPT001 Line DS2	231	35	35	35	0.17	0.42	0.85	624.75	20616.75	3.03

Sedangkan 10,4 % dari 400 kVA adalah sebesar :

$$10,4\% \times 400000 = 41.600 \text{ VA}$$

Selanjutnya dapat dihitung kapasitas trafo yang dibutuhkan untuk menopang

kekurangan daya pada GT.IPT 001 Line B dan Line D adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{kVA Beban}}{0,7} = \frac{41,6}{0,7} = 59,4 \text{ kVA} \approx$$

60 kVA

Untuk menghitung Arus beban penuh (*full load*) :

$$I_{fl} = \frac{s}{\sqrt{3} \times V_{f-n}} = \frac{60.000}{\sqrt{3} \times 231} = 149,96 \text{ A}$$

kVA terukur Line B =

$$\begin{aligned} & \frac{I_R \times V_{F-N} + I_S \times V_{F-N} + I_T \times V_{F-N}}{1000} \\ & = 110 \times 231 + 155 \times 231 + 144 \times 231 / \\ & 1000 \\ & = 25410 + 35805 + 33264 / 1000 \\ & = 94479 / 1000 = 94,479 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Beban Trafo Line B} &= 94,479 \times 100 / 231 \\ &= 40,9\% \end{aligned}$$

kVA terukur Line D adalah

$$\begin{aligned} D &= \frac{I_R \times V_{F-N} + I_S \times V_{F-N} + I_T \times V_{F-N}}{1000} \\ &= 173 \times 231 + 178 \times 231 + 102 \times \\ & 231 / 1000 \\ &= 40000 + 41000 + 23600 / 1000 \\ &= 104600 / 1000 = 104,6 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Beban Trafo Line D} &= 104,6 \times 100 \\ / 231 &= 45,28\% \end{aligned}$$

Pada BTN Hamzy ada 2 Trafo sisipan yakni untuk Line B dan Line D dengan kapasitas trafo masing-masing 60 kVA. Berdasarkan SPLN bahwa pembebana trafo yang ideal

ialah antara 40-70% sehingga persentase pembebanan trafo pada trafo sisipan Line B dan Line D sesuai dengan standar Yakni 40,9% dan 45,28%. Sedangkan persentase pembebanan Trafo GT.IPT.001 setelah pemasangan Trafo sisipan menjadi 68,7%.

Untuk letak yang ideal dalam penempatan trafo sisipan untuk Line B dan D dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_C &= \frac{10 \% \times V_{lvc}}{I_{\text{beban Puncak}} \times R_{\text{saluran}}} = \frac{10 \% \times 400}{482 \times 0,4} \\ &= 0,2074 \text{ kms} = 207,4 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_D &= \frac{10 \% \times V_{lvc}}{I_{\text{beban Puncak}} \times R_{\text{saluran}}} = \frac{10 \% \times 400}{482 \times 0,45} \\ &= 0,1844 \text{ kms} = 184,4 \text{ ms} \end{aligned}$$

Berdasarkan pertimbangan secara teoritis (hasil perhitungan), serta pertimbangan kondisi lapangan (perkembangan lokasi beban di lokasi), maka penulis melakukan penempatan usulan transformator sisipan berjarak 360 ms dari GT-IPT 001 dengan pengalihan sebagian beban line B sedangkan untuk Line D berjarak 240 ms.

Trafo Sisipan Di BTN Antara

Pada GT.IPT.003 Line C dan Line D di BTN Antara. Besar presentase pembebanan transformator menggunakan dasar data pengukuran yaitu 69,2 %, sehingga dapat dihitung pengalihan bebannya yaitu :

$$69,2 \% - 56 \% = 13,2 \%$$

Untuk pengalihan Beban trafo GT.IP.003 masing-masing I beban setiap fasa di Line C dan Line D di ambil 30 A dalam masing-masing 1 Line yakni Line CS dan DS, agar jatuh tegangan, rugi daya dan persentase pembebanan trafo sesuai dengan standar.

Jatuh Tegangan pada GT.IPT 001 Line C & D (BTN Antara)

Dik : Resistansi Jenis Al (ρ) = 28,25 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$

Reaktansi Jenis Al = 0,1 Ω/km

$L_{\text{tot antara}} = 3066 \text{ ms} = 3,066 \text{ kms}$

$L_C = 546 \text{ ms} = 0,546 \text{ kms}$

$L_D = 1008 \text{ ms} = 1,008 \text{ kms}$

$X_C = 0,1 \times 0,546 = 0,0546 \Omega$

$$X_D = 0,1 \times 1,008 = 0,1008 \Omega$$

$$A = 70 \text{ mm}^2$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = 28,25 \times \frac{0,546}{70} = 0,19 \Omega/\text{km}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= I (R \cos \phi + X \sin \phi) \\ &= 150(0,19 \times 0,85 + 0,0546 \times 0,53) \\ &= 150(0,1615 + 0,028938) \\ &= 150(0,190438) = 28,57 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \\ &= \frac{28,57}{231} \times 100\% = 12,37\% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama nilai jatuh tegangan pada Line C & D lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawa ini.

Tabel 9 Jatuh Tegangan Pada BTN Antara Line C & Line D

NO	Kode Gardu	I(A)	R(Ω)	$\cos \phi$	L (kms)	X (Ω)	$\sin \phi$	ΔV	V	$\% \Delta V$
1	GT-IPT003 Line C	150	0.19	0.85	0.546	0.0546	0.53	28.57	231	12.12
2	GT-IPT003 Line D	124	0.4	0.85	1.008	0.1008	0.53	48.78	231	12.37

Jatuh Tegangan pada GT.IPT 001 Line B & D Setelah Pemasangan Trafo Sisipan

Dik : Resistansi Jenis Al (ρ) = 28,25 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$

Reaktansi Jenis Al = 0,1 Ω/km

$L_{\text{tot antara}} = 3066 \text{ ms} = 3,066 \text{ kms}$

$L_C = 294 \text{ ms} = 0,294 \text{ kms}$

$L_D = 336 \text{ ms} = 0,336 \text{ kms}$

$X_C = 0,1 \times 0,294 = 0,0294 \Omega$

$$\begin{aligned}
 X_D &= 0,1 \times 0,336 = 0,0336 \Omega & &= 120(0,102 + 0,015582) \\
 A &= 70 \text{ mm}^2 & &= 120(0,117582) = 14,11 \text{ V} \\
 R &= \rho \frac{L}{A} & &\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \\
 &= 28,25 \times \frac{0,294}{70} = 0,12 \Omega/\text{km} & &= \frac{14,11}{231} \times 100\% = 6,11\% \\
 \Delta V &= I (R \cos \phi + X \sin \phi) & & \\
 &= 120(0,12 \times 0,85 + 0,0294 \times 0,53) & &
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai jatuh tegangan pada Line B & D setelah pemasangan Trafo Sisipan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 10 Nilai Jatuh Tegangan pada Line C & D setelah pemasangan trafo sisipan

NO	Kode Gardu	I(A)	R (Ω)	cos φ	L (kms)	X(Ω)	sin φ	ΔV	V	%ΔV
1	GT-IPT001 Line C2	120	0.12	0.85	0.294	0.0294	0.53	14.11	231	6.11
2	GT-IPT003 Line D2	124	0.14	0.85	0.336	0.0336	0.53	16.96	231	7.34
3	GT-IPT001 Line CS	30	0.1	0.85	0.252	0.0252	0.53	2.95	231	1.28
4	GT-IPT001 Line DS	30	0.27	0.85	0.672	0.0672	0.53	7.95	231	3.44

Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil perhitungan rugi daya yang terjadi di

Line C & D lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 11 Rugi Daya pada Line C & D pada GT.IPT.003

NO	Kode Gardu	V (V)	Ir (A)	Is (A)	It (A)	R (Ω)	L (kms)	cos φ	ΔP (Watt)	P (kW)	%ΔP
1	GT-IPT003 Line C	231	105	121	150	0.19	0.546	0.85	6016.16	58905	10.21
2	GT-IPT003 Line D	231	124	68	108	0.4	1.008	0.85	19266.40	73827.6	26.10

$$\begin{aligned}
 & \text{- Rugi Daya pada GT. IPT 001 Line C \& D (BTN Antara) Setelah pemasangan Trafo Sisipan} \\
 & = (5625 + 8281 + 14400) 0,12 \\
 & = (28306) 0,12 \\
 & = 3396,72 \text{ W} \\
 \text{Daya yang tersalurkan} &= V (I_R + I_S + I_T) \text{ Cos } \phi \\
 &= 231 (75 + 91 + 120) 0,85 \\
 &= 231 (286) 0,85 \\
 &= 56156,1 \text{ W} \\
 \% \text{ Rugi Daya} &= \frac{\text{Rugi Daya}}{\text{Daya yang tersalurkan}} \times 100\% \\
 &= \frac{3396,72}{56156,1} \times 100\% \\
 &= 0,0605 \times 100\% = 6,05 \%
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil perhitungan rugi daya yang terjadi di Line C & D lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.12 di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \Delta p &= (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) R \\
 &= (75^2 + 91^2 + 120^2) 0,12
 \end{aligned}$$

Tabel 12 Rugi Daya pada Line C & D setelah pemasangan trafo sisipan

NO	Kode Gardu	V (V)	I _r (A)	I _s (A)	I _t (A)	R (Ω)	L (kms)	cos φ	ΔP (Watt)	Daya yang tersalurkan (kW)	%ΔP
1	GT-IPT001 Line C2	231	75	91	120	0.12	0.294	0.85	3396.72	56156.1	6.05
2	GT-IPT001 Line D2	231	94	38	78	0.14	0.336	0.85	2290.96	41233.5	5.56
3	GT-IPT001 Line CS	231	30	30	30	0.1	0.252	0.85	270.00	17671.5	1.53
4	GT-IPT001 Line DS	231	30	30	30	0.27	0.672	0.85	729.00	17671.5	4.13

Sedangkan 13,2 % dari 315 kVA adalah sebesar $13,2\% \times 315000 = 41.580$ VA

Selanjutnya dapat dihitung kapasitas trafo yang dibutuhkan untuk menopang kekurangan daya pada GT.IPT 003 Line C dan Line D adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{kVA Beban}}{0,7} = \frac{41.580}{0,7} = 59,4 \text{ kVA} \approx$$

60kVA

Untuk menghitung Arus beban penuh (*fill load*) :

$$I_{rl} = \frac{s}{\sqrt{3} \times V_{f-n}} = \frac{60.000}{\sqrt{3} \times 231} = 149,96$$

kVA terukur Line C

$$C = \frac{I_R \times V_{F-N} + I_S \times V_{F-N} + I_T \times V_{F-N}}{1000}$$

$$= 75 \times 231 + 91 \times 231 + 120 \times 231 / 1000$$

$$= 17300 + 21000 + 27700 / 1000$$

$$= 66000 / 1000 = 66 \text{ kVA}$$

$$\% \text{ Beban Trafo Line C} = 66 \times 100 / 231$$

$$= 28,57\%$$

kVA terukur Line D =

$$\frac{I_B \times V_{F-N} + I_S \times V_{F-N} + I_T \times V_{F-N}}{1000}$$

$$= 94 \times 231 + 38 \times 231 + 78 \times 231 / 1000$$

$$= 21714 + 8778 + 18018 / 1000$$

$$= 48510 / 1000 = 48,51 \text{ kVA}$$

$$\% \text{ Beban Trafo Line D} = 48,51 \times 100 / 231$$

Pada BTN Hamzy ada 1 Trafo sisipan untuk Line C dan Line D dengan kapasitas trafo 60 kVA. Berdasarkan SPLN bahwa pembebanan trafo yang ideal ialah antara 40-70% sehingga persentase pembebanan trafo pada trafo sisipan Line C dan Line D sesuai dengan standar Yakni $28,57\% + 21\% = 49,57\%$ Sedangkan persentase pembebanan Trafo GT.IPT.001 setelah pemasangan Trafo sisipan menjadi 56%.

Untuk letak yang ideal dalam penempatan trafo sisipan untuk GT.IPT.003 Line C & D dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$L = \frac{10 \% \times V_{lvc}}{I_{\text{beban Puncak}} \times R_{\text{saluran}}} = \frac{10 \% \times 315}{389 \times 0,4}$$

$$L = 0,2024 \text{ kms} = 202,4 \text{ ms}$$

Berdasarkan pertimbangan secara teoritis (hasil perhitungan), serta pertimbangan kondisi lapangan (perkembangan lokasi beban di lokasi), maka penulis melakukan penempatan usulan transformator sisipan berjarak 320 meter dari GT-IPT 003 dengan pengalihan sebagian beban line B & line D.

Penambahan trafo sisipan dapat mengurangi jatuh tegangan dan rugi daya karena jarak penghantar semakin dekat, sehingga nilai tahanan pada penghantar semakin kecil sehingga mampu memaksimalkan pendistribusian energi listrik dari tiang pangkal hingga ke tiang ujung.

KESIMPULAN

1. Rata-rata Jatuh Tegangan pada BTN Hamzy ialah 49,35 volt atau 21,36%, Sedangkan pada BTN Antara rata-rata Jatuh Tegangan ialah 17,57 volt atau 7,61%. Rata-rata Rugi Daya pada BTN Hamzy ialah 25794,24 Watt atau 23,09%. Sedangkan pada BTN Antara rata-rata Rugi Daya ialah 4766,21 Watt atau 7,68%.
2. Cara merekonfigurasi jatuh tegangan dan rugi daya pada BTN Hamzy dan BTN Antara yaitu menggunakan Trafo Sisipan. Di usulkan trafo sisipan berkapasitas 60 kVA, 2 trafo pada GT.IPT.001 di Line B dan Line D serta 1 Trafo pada GT.IPT.003 pengalihan beban Line C & D. Rata rata Jatuh Tegangan pada BTN Hamzy setelah rekonfigurasi ialah 14,22 volt atau 6,16%, Sedangkan pada BTN Antara rata-rata Jatuh Tegangan ialah 8,98 volt atau 3,89%. Rata-rata Rugi Daya pada BTN Hamzy ialah 4471,22 Watt atau 6,13%. Sedangkan pada BTN Antara rata-rata Rugi Daya ialah 1500,39 Watt atau 3,57%.

Saran

1. Untuk PT. PLN (Persero) sebaiknya menyediakan data pada setiap fasa untuk semua *feeder* yang dilayani pada PT. PLN Rayon Makassar Timur.
2. Untuk Mahasiswa Teknik Elektro yang ingin melakukan penelitian selanjutnya sebaiknya mengukur tahanan kerja pada *feeder*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakhtiar, Azalia dan Saidah Syahyani. 2015. "Studi Perbaikan dan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Pada Penyulang GTC (*Global Trade Centre*)". Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Dwi Cahyanto, Restu. 2008. "Studi Perbaikan Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Penyulang Pupur dan Bedak Menggunakan Bank Kapasitor, Trafo Pengubah Tap dan Penggantian Kabel Penyulang". Skripsi. Depok : Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Elektra. 2011. *Perhitungan losses jaringan listrik*, (online).
- Haris, Muh dan Fajar Naufal. 2014. "Analisis Rugi Daya di Penyulang UNHAS PT.PLN (Persero) Rayon Makassar Timur". Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik

- Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Jonal Hontong, Nolki. dkk. 2015. Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu. *E-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, (Online), Mastang. 2015. "Tata Tulis Laporan". Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Mustafsiroh, Ainul dan Utami Masrura Rauf. 2015. "Analisis Susut Daya pada Gardu Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur". Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Naim, Kurniawati. 2015. "Konfigurasi JTR Akibat Tingginya Rugi Daya & Jatuh Tegangan Pada BTN Hamzy & BTN Antara". Laporan Penelitian. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Nasir Malik, Muh. 2009. *Analisis Losses Jaringan Distribusi Primer Pada Penyulang Adhyaksa Makassar. Media Elektrik*, (online),
- Nur Fitri, Sulistianingsih dan Ahmad Fauzi. 2013. "Analisis Rugi Daya Pada Sistem Jaringan Distribusi Listrik PT. PLN (Persero) Rayon Pangkep". Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Prana Tarigan, Josia. 2011. *Sistem Distribusi*, (Online).
- Sarimun, Wahyudi. 2011. *Buku Saku Pelaaan Teknik (YANTEK)*. Depok: Garamond.
- Suartika, Made dan I Wayan Arta Wijaya. 2010. Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Untuk Memperbaiki Drop Tegangan Di Daerah Banjar Tulangnyuh Klungkung. *Jurnal Teknologi Elektro*, (online), Vol.9, No.2