

ANALISA SUSUT DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI  
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH

Hamles L. Latupeirissa<sup>1)</sup>, Halamoan M. Muskita<sup>2)</sup>, T.J. Tahalele<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon

<sup>1)</sup>[leo.lidya.6475@gmail.com](mailto:leo.lidya.6475@gmail.com), <sup>2)</sup> [h.m.muskita@gmail.com](mailto:h.m.muskita@gmail.com), <sup>3)</sup>[tahalelethonyferts@gmail.com](mailto:tahalelethonyferts@gmail.com)

ABSTRACT

To expand the distribution network system, one of the criteria that needs to be met is high efficiency, without neglecting the economic aspects. Good efficiency will be achieved if the energy losses can be reduced as small as possible. Shrinkage on distribution network systems is one of the considerations, both in planning and operation, because it affects investment costs. In calculating these power losses some limitations need to be done, namely the calculation of power losses is carried out due to the presence of resistance from one air channel and one medium voltage cable channel as a sample. While the power losses due to the influence of inductance and capacitance are ignored. The next step is to calculate the power losses of the distribution transformer, in the form of core and copper shrinkage. While shrinkage due to stress on the channel, including due to insulators or cable insulation, is not taken into account. The results of the analysis show that the real power loss / shrinkage per substation ranges from 582.92 Watts to 1001.78 Watts. The smallest power losses occurred at KTAKP1007 (0.42%) substations and the largest power losses occurred at KTAKP1008 substations (1.15%). The total amount of feeder shrinkage is 16031.66 watts or 18.10%. still normal or not exceeding the provisions of the SPLN of 20%.

ABSTRAK

Untuk memperluas sistem jaringan distribusi, salah satu kriteria yang perlu dipenuhi adalah efisiensi yang besar, tanpa mengabaikan aspek ekonomi. Efisiensi yang baik akan dicapai bila susut energi dapat ditekan sekecil mungkin. Susut pada sistem jaringan distribusi menjadi salah satu pertimbangan, baik dalam perencanaan maupun pengoperasian, karena mempengaruhi biaya investasi. Dalam perhitungan susut daya ini perlu dilakukan beberapa batasan, yaitu perhitungan susut daya dikerjakan akibat adanya resistansi dari satu saluran udara dan satu saluran kabel tegangan menengah sebagai sampel. Sedangkan susut daya akibat pengaruh induktansi dan kapasitansi diabaikan. Selanjutnya dilakukan perhitungan susut daya dari transformator distribusi, berupa susut inti dan tembaga. Sedangkan susut akibat tegangan pada saluran, termasuk akibat isolator atau isolasi kabel, tidak diperhitungkan. Hasil analisis memperlihatkan bahwa rugi/susut daya nyata per gardu berkisar antara 582.92 Watt sampai dengan 1001,78 Watt. Susut daya terkecil terjadi pada gardu KTAKP1007 (0,42 %) dan susut daya terbesar terjadi pada gardu KTAKP1008 (1,15 %). Besarnya total susut daya penyulang sebesar 16031,66 watt atau 18,10 %. masih normal atau tidak melebihi ketentuan pada SPLN sebesar 20 %.

**Kata Kunci :** *Susut Daya; Jaringan Tegangan Menengah*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan secara keseluruhan meliputi bagian pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Sistem distribusi yang berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik ke konsumen perlu kualitas yang memadai. Berdasarkan informasi dari PT. PLN (Persero) Cab. Ambon, sebagian besar susut energi listrik terdapat pada jaringan distribusi. Oleh karena itu susut pada sistem jaringan tersebut perlu diperhitungkan lebih teliti.

Untuk memperluas sistem jaringan distribusi, salah satu kriteria yang perlu dipenuhi adalah efisiensi yang besar, tanpa mengabaikan aspek ekonomi. Efisiensi yang baik akan dicapai bila susut energi dapat ditekan sekecil

mungkin. Susut pada sistem jaringan distribusi menjadi salah satu pertimbangan, baik dalam perencanaan maupun pengoperasian, karena mempengaruhi biaya investasi (Bambang, 2001; Gonen, 1986; Sulasno, 2000).

Pada umumnya, susut daya pada jaringan distribusi berkisar 10% (APEI, 2003). Biasanya perhitungan susut energi pada sistem jaringan distribusi dilakukan dengan menggunakan selisih energi terjual dengan yang diterima pada setiap penyulang. Mengingat pentingnya informasi mengenai besarnya susut pada suatu jaringan distribusi yang dipergunakan dalam perencanaan pengembangan jaringan, maka studi mengenai susut energi pada system jaringan distribusi perlu dilakukan.

Dalam perhitungan susut daya ini perlu dilakukan beberapa batasan, yaitu perhitungan susut daya

dikerjakan akibat adanya resistansi dari satu saluran udara dan satu saluran kabel tegangan menengah sebagai sampel. Sedangkan susut daya akibat pengaruh induktansi dan kapasitansi diabaikan. Selanjutnya dilakukan perhitungan susut daya dari transformator disribusi, berupa susut inti dan tembaga. Sedangkan susut akibat tegangan pada saluran, termasuk akibat isolator atau isolasi kabel, tidak diperhitungkan.

**1.2 Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang, peneliti merumuskan masalah sebagai berikut :  
Berapa besar presentasi susut daya pada penyulang/feeder Karpan I kota Ambon?

**1.3 Tujuan dan Manfaat**

**1.3.1 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah menghitung presentasi susut daya pada penyulang/feeder Karpan I kota Ambon.

**1.3.2 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam perbaikan sistem jaringan yang ada atau dalam perencanaan pembangunan jaringan baru.

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Pengertian Susut Daya listrik**

Susut daya atau rugi daya listrik adalah berkurangnya pasokan daya yang dikirimkan oleh sumber pasokan (PLN) kepada yang diterima dalam hal ini konsumen, artinya daya yang hilang akibat susut daya merupakan daya yang dibangkitkan namun tidak terjual. Dalam hal ini pihak penyedia daya listrik (PLN), menderita kerugian akibat membangkitkan daya dengan biaya yang cukup besar tetapi tidak mendapatkan keuntungan finansial dari hasil penjualan daya tersebut. Susut daya jaringan listrik yang biasa terjadi pada sistem transmisinya dinyatakan dengan persamaan :

Saluran pendek  
 $PL = 3 I^2 R_L$  ..... (1)  
 Saluran panjang/ jarak jauh

Rugi-rugi daya menurut perumusan Conen (1987) adalah:

$PL = 3 R_x L ( I^2 - I I_c \sin \phi + I_c^2 )$  ..... (2)  
 di mana :

- PL = Hilang daya (watt)
- R = Tahanan kawat per fasa ( $\Omega$ / Km)
- L = Panjang saluran (Km)
- $\cos \phi$  = Faktor – daya beban / ujung penerima
- I = Arus beban (A)
- $I_c$  = Arus pemuat pada titik pengiriman (A)

Sedangkan untuk mengetahui besar nilai susut daya listrik dinyatakan dengan Persamaan:

$P_L = P_S - P_R$  ..... (3)

Persentase antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan dinyatakan dengan persamaan :

$P_L = \frac{P_R}{P_S} \times 100\%$  ..... (4)

dengan :

- $P_R$  = Daya yang dipakai (KW)
- $P_S$  = Daya yang dikirimkan (KW)
- PL = Hilang/ Susut daya (KW)

Susut daya listrik merupakan persoalan krusial yang dihadapi oleh PLN dan belum dapat sepenuhnya terpecahkan. Pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindarkan sistem mengalami pemadaman total (totally black out). Persoalan kualitas daya merupakan persoalan lain yang diantaranya disebabkan oleh kekurangan pasokan daya listrik.

Persoalan ini meliputi profil tegangan yang buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik yang berlebihan. Ketika kontinuitas pasokan masih merupakan persoalan, hal-hal yang berkaitan dengan persoalan kualitas daya untuk sementara dapat ”diabaikan” yang kemudian mengherankan adalah ketika data di lapangan menunjukkan bahwa kapasitas pembangkit yang tersedia lebih dari cukup untuk memikul beban yang ada.

Kesimpulan yang sementara bisa ditarik adalah bahwa terjadi susut daya yang cukup besar di jaringan. Kesimpulan ini diperkuat dengan data di lapangan bahwa susut daya di jaringan cukup besar melebihi estimasi yang ditetapkan. Kerugian finansial akibat susut daya ini merupakan hal yang tidak bisa dihindarkan.

**2.2 Rugi Tembaga**

Rugi tembaga atau rugi-rugi lainnya berbanding lurus dengan kuadrat beban dan dengan adanya kurva beban versus waktu atau kurva lamanya pembebanan, maka dapatlah dibuat kurva rugi daya/waktu atau kurva lamanya rugi daya dimana setiap ordinatnya berbanding lurus dengan kuadrat setiap ordinat kurva bebannya. Dari kurva rugi daya, dapat pula ditentukan rugi daya rata-ratanya selama periode tersebut. Luas dari kurva lamanya rugi daya merupakan rugi energi selama periode tersebut. Jadi rugi daya rata-rata = rugi energi selama periode tersebut/lamanya periode tersebut.

Dalam perhitungan rugi energi sebaiknya dipakai faktor rugi yaitu perbandingan antara rugi daya rata-rata dan rugi daya pada beban puncak dalam periode tertentu.

Rugi energi = rugi daya pada beban puncak x faktor rugi x jumlah jam dari periode tersebut

Faktor rugi energi adalah sama dengan faktor rugi dibagi dengan faktor beban dalam periode yang sama dan untuk suatu bentuk kurva beban yang umum, terdapat hubungan antara faktor rugi energi dengan faktor beban.

Jadi faktor rugi energi dapat dinyatakan sebagai, faktor rugi energi = faktor rugi daya / faktor beban

Bila faktor rugi energi sudah diketahui atau sudah diasumsikan, persentase rugi (tembaga) pada beban puncak untuk periode tersebut didapat dari persamaan :

Rugi energi (%) = rugi daya pada beban puncak x faktor rugi energi

Rugi energi dalam persen = Rugi daya dalam persen pada beban nominalnya x faktor rugi energi x faktor kapasitas/faktor beban.

### 2.3 Rugi-rugi Besi

Besaran dari rugi daya konstan seperti rugi besi, rugi bantalan, gesekan dan gesekan angin pada ujung belitan dan sebagainya untuk bermacam bagian dari system tenaga biasanya diketahui dari hasil pengujian maupun pengujian di lapangan. Rugi energi yang konstan ini dapat dihitung dengan mengalikan konstanta rugi dayannya dengan jumlah jam dari selang yang diamati. Bila nilainya akan ditentukan dalam persen, maka konstanta rugi daya harus dalam persen dari nilai beban nominalnya, konstanta rugi energi dapat diturunkandari pernyataan berikut ini :

Rugi energi (%) = Rugi daya dalam persen pada beban nominalnya / factor kapasitas.

### 2.4 Rugi-rugi tidak langsung akibat dari beban

Rugi pada turbin hidrolik, turbin uap dan bagian-bagian lainnya dari sistem tenaga ada yang berbanding lurus dengan kuadrat beban dan ada pula yang konstan. Bentuk kurva dari rugi versus beban untuk tipe pembangkit yang berlainan variasinya satu sama lain cukup besar, sehingga tidak mungkin membuat perhitungan rugi energi sederhana dengan menggunakan faktor tersebut di atas untuk rugi tembaga. Secara umum bentuk kurva dari rugi daya versus beban dapat dibuat dari kurva efisiensi versus beban dan bial kurva beban harian atau bulana diketahui, diutamakan dari kurva lamanya pembebanan, maka kurva rugi daya/waktu dapat dibuat.

Pada PLTA, rugi turbin hidrolik biasanya merupakan rugi yang terbesar dari setiap peralatan sistem. Untuk alasan itulah hal ini perlu mendapat perhatian yan sebesar-besarnya.

### 2.5 Penanggulangan susut teknis

Komputer dapat membantu dalam perhitungan pengurangan susut system. Dengan data masukan yang berbeda-beda, dibuat beberapa alternative kajian mengenai hal ini. Pengurangan susut system menghasilkan penghematan energi, juga peningkatan kapasitasnya. Berbagai cara dapat dilakukan untuk mengurangi susut system antara lain :

- a. Optimalisasi kapasitas beban
  - Pemilihan kapasitas TR (kVA-km) yang dipakai, didasarkan apda pengaturan tegangan dan factor daya normal.
  - Pilih kapasitas saluran TM, kVA-km, dari penghantar standar yang ada, oleh karenanya panjang penyulang TMnya dibatasi. Pada saluran, yang kapasitasnya (kVA-km atau MVA-km)

sudah dilampaui, beban penghantar dapat dikurangi dengan :

- Memindah bebannya ke penyulang lain.
  - Mengganti penghantar yang ada dengan yang lebih besar
  - Menambah feeder baru dan kemudian mengatur pembagian bebannya.
  - Menaikkan kelas tegangan, misalnya dari 6 kv ke 20 kv.
- b. Optimalisasi kapasitas transformator, lokasi, beban yang dipikul.  
Pemilihan kapasitas transformator distribusi, dikaitkan dengan macam beban (pelanggan) yang dilayaninya, dengan menjaga agar jatuh tegangan minimum.  
Pemilihan lokasi transformator distribusi, dikaitkan dengan macam beban yang dilayani dengan menjaga agar susut tegangan minimum.  
Optimalkan pendayagunaan trasformator, didasarkan pada factor beban dari beban yang dilayani.
  - c. Tetap menjaga tingkat tegangan yang diijinkan pada system distribusi.
  - d. Memasang kapasitor shunt
    - Gunakan kapasitor shunt pada beban induktif atau apda titik-titik tertentu pada saluran TRnya, dengan mempertimbangkan ekonomis tidaknya.
    - Gunakan kapasitor shunt dengan daya pengenal yang optimum atau titik/lokasi optimum pada penyulang tegangan menengahnya, guna mengurangi rugi daya, susut energi dan menjaga kondisi tegangan. Dalam menangani hal tersebut tindakan yang diambil dapat berupa :
    - Memasang tumpuk kapasitor (bank kapasitor) tetap, guna mendapatkan factor daya 100% atau factor daya sedikit mendahului, selama diluar beban puncaknya.
    - Memasang tumpuk kapasitor yang dapat dimasukkan dan dikeluarkan dari sistem tersebut.
    - Tumpuk kapasitor ini dimasukkan/ dihubungkan ke sistem untuk mengkoreksi faktor dayanya selama beban puncak.

## 3. METODOLOGI

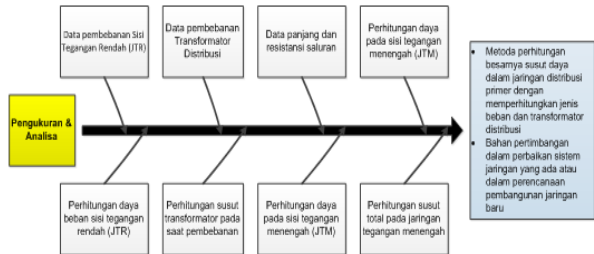
### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini di laksanakan pada PT. PLN cab, Ambon, khususnya pada trafo distribusi dan saluran yang terpasang pada penyulang/feeder Karpan I.

### 3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian susut daya pada sistem distribusi tegangan menengah penyulang Karpan I PT. PLN cabang Ambon, direncanakan selama 3 bulan. Secara terperinci, waktu penelitian dapat dilihat pada lampiran 1 proposal penelitian ini.

Sedangkan rencana penelitian secara terperinci dan tahapan atau proses yang dilakukan agar tujuan penelitian yang dilakukan terlaksana dengan baik dan sesuai rencana, dapat dilihat pada peta petunjuk (roadmap) penelitian berikut :



Sumber: penulis, 2019

Gambar 1. Peta Petunjuk (roadmap) Penelitian

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

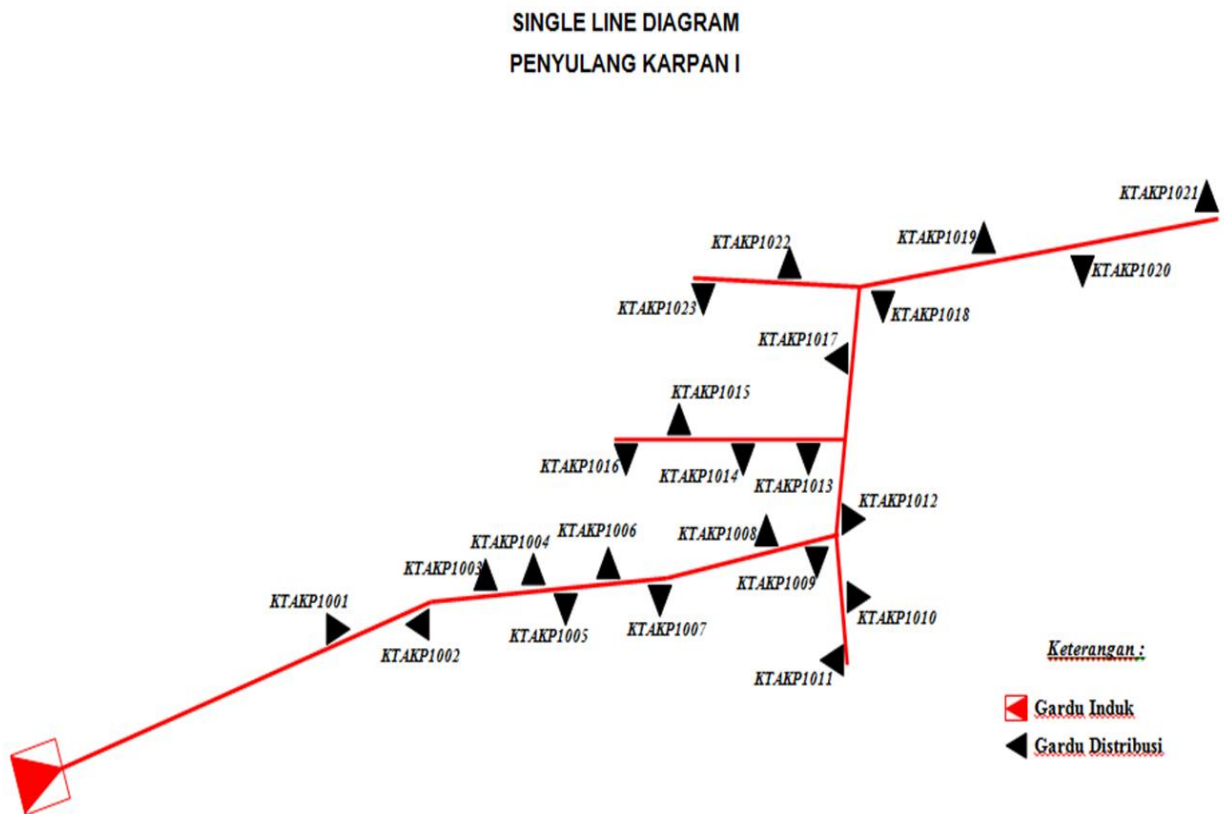
##### 4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Transformator distribusi yang akan digunakan sebagai obyek penelitian adalah transformator yang terbebani sebanyak 23 buah trafo distribusi, dengan jenis gardu transformator portal. Semua transformator tersebut berada di wilayah PT. PLN (Persero) kota Ambon penyulang/feeder Karpan 1. Untuk dapat melakukan perhitungan, maka diperlukan sejumlah data-data masukan, berikut beberapa data masukan dari transformator distribusi yang menjadi objek penelitian.:

##### 4.1.1 Data Transformator

- Transformator : 3 fasa
- Jenis pendinginan : ONAN
- Tegangan primer : 20 KV
- Jenis gardu : Porta

##### 4.1.2 Gambar Deskripsi Penyulang Karpan I



Gambar 2. Single line penyulang Karpan I

4.2 Diskripsi Variabel Penelitian

Tabel 1. Data Pembebanan Penyulang Karpan I

NO	Nama Gardu	Daya Trafo (kVA)	Arus TM (A)			Arus PHB TR (Volt)			Tegangan PHB TR (Volt)		
			I <sub>R</sub>	I <sub>S</sub>	I <sub>T</sub>	I <sub>R</sub>	I <sub>S</sub>	I <sub>T</sub>	V <sub>R-N</sub>	V <sub>S-N</sub>	V <sub>R-N</sub>
1	KTAKP1001	200	3	2,8	2,4	300	280	240	228	225	226
2	KTAKP1002	250	1,8	1,5	1,9	182	153	189	228	225	226
3	KTAKP1003	250	2,6	3,1	4,3	300	300	400	226	226	224
4	KTAKP1004	200	0,9	1,4	0,8	90	140	80	226	227	226
5	KTAKP1005	200	1,2	0,9	1,2	122	90	124	228	227	226
6	KTAKP1006	200	2,3	2,7	2,1	233	273	213	225	229	220
7	KTAKP1007	200	1,2	1,1	0,6	124	114	64	225	226	226
8	KTAKP1008	400	1,8	1,5	3,5	179	148	350	227	226	225
9	KTAKP1009	315	2,2	1,9	1,7	224	193	169	221	227	221
10	KTAKP1010	200	1,7	1,8	0,9	168	180	90	220	219	221
11	KTAKP1011	250	2,9	3,1	3,3	302	301	298	223	225	224
12	KTAKP1012	250	1,3	1,9	2	130	190	200	229	228	227
13	KTAKP1013	250	2,6	2,4	2,7	300	300	298	226	226	224
14	KTAKP1014	200	1,2	1,2	1,1	124	123	124	220	220	220
15	KTAKP1015	200	1,4	1,5	1,3	111	113	114	220	220	220
16	KTAKP1016	200	1	1	1,3	96	98	102	220	220	220
17	KTAKP1017	200	2,1	2,1	2,2	233	273	213	221	221	220
18	KTAKP1018	200	1,1	1	1,2	104	103	104	220	220	220
19	KTAKP1019	200	1,6	1,6	1,8	158	150	157	220	219	221
20	KTAKP1020	200	1,3	1,2	1,2	124	123	124	220	220	220
21	KTAKP1021	250	2,8	2,7	2,8	304	300	380	226	226	224
22	KTAKP1022	200	1,2	1,2	1,1	124	123	124	220	220	220
23	KTAKP1023	200	1,4	1,4	1,5	111	113	114	220	220	220

Sumber: penulis, 2019

Tabel 2. Data Saluran Penyulang Karpan I

No.	Gardu		Jenis Saluran	Panjang (km)	R (ohm/km)
	Awal	Akhir			
1	Karpan I	KTAKP1001	SUTM	2,449	0,438
2	KTAKP1001	KTAKP1002	SUTM	0,503	0,438
3	KTAKP1002	KTAKP1003	SUTM	0,264	0,438
4	KTAKP1003	KTAKP1004	SUTM	0,9	0,438
5	KTAKP1004	KTAKP1005	SUTM	0,746	0,438
6	KTAKP1005	KTAKP1006	SUTM	0,308	0,438
7	KTAKP1006	KTAKP1007	SUTM	0,177	0,438
8	KTAKP1007	KTAKP1008	SUTM	1,257	0,438
9	KTAKP1008	KTAKP1009	SUTM	1,241	0,438
10	KTAKP1009	KTAKP1010	SUTM	1,165	0,438
11	KTAKP1010	KTAKP1011	SUTM	0,115	0,438
12	KTAKP1009	KTAKP1012	SUTM	0,286	0,438
13	KTAKP1012	KTAKP1013	SUTM	0,515	0,438
14	KTAKP1013	KTAKP1014	SUTM	0,221	0,438
15	KTAKP1014	KTAKP1015	SUTM	0,235	0,438
16	KTAKP1015	KTAKP1016	SUTM	0,167	0,438
17	KTAKP1013	KTAKP1017	SUTM	0,385	0,438
18	KTAKP1017	KTAKP1018	SUTM	0,23	0,438
19	KTAKP1018	KTAKP1019	SUTM	0,327	0,438
20	KTAKP1019	KTAKP1020	SUTM	0,368	0,438
21	KTAKP1020	KTAKP1021	SUTM	0,554	0,438
22	KTAKP1018	KTAKP1022	SUTM	0,297	0,438
23	KTAKP1022	KTAKP1023	SUTM	0,215	0,438

Sumber: penulis, 2019

Tabel 3. Data trafo distribusi penyulang Karpan I

No.	Gardu	Kapasitas Trafo (kVA)	Merk Trafo	Rugi Besi (Watt)	Rugi Tembaga (Watt)	% pf
1	KTAKP1001	200	Unindo	550	2850	85
2	KTAKP1002	250	Unindo	650	3250	85
3	KTAKP1003	250	Starlite	600	3000	85
4	KTAKP1004	200	Unindo	550	2850	85
5	KTAKP1005	200	Unindo	550	2850	85
6	KTAKP1006	200	Unindo	550	2850	85
7	KTAKP1007	200	Unindo	550	2850	85
8	KTAKP1008	400	Unindo	930	4600	85
9	KTAKP1009	315	Sintra	770	3900	85
10	KTAKP1010	200	Unindo	550	2850	85
11	KTAKP1011	250	Starlite	600	3000	85
12	KTAKP1012	250	Starlite	600	3000	85
13	KTAKP1013	250	Unindo	550	3250	85
14	KTAKP1014	200	Starlite	600	2400	85
15	KTAKP1015	200	Starlite	600	2400	85
16	KTAKP1016	200	Unindo	550	2850	85
17	KTAKP1017	200	Unindo	550	2850	85
18	KTAKP1018	200	Unindo	550	2850	85
19	KTAKP1019	200	Unindo	550	2850	85
20	KTAKP1020	200	Starlite	600	2400	85
21	KTAKP1021	250	Starlite	600	3000	85
22	KTAKP1022	200	Starlite	600	2400	85
23	KTAKP1023	200	Unindo	550	2850	85

Sumber: penulis, 2019

4.3 Analisis Data Hasil Penelitian

4.3.1 Beban Sisi Tegangan Menengah

Data beban pada sisi tegangan menengah diperoleh dari transformasi nilai pada sisi tegangan rendah terhadap perbandingan tegangan pengenal transformator.

$$I_{TM}' = (V_2/V_1) I_{TR} \quad (\text{Ampere})$$

$$= (400/20000) \times ((300 + 280 + 240)/3)$$

$$= 0,02 \times 273,3 = \mathbf{5,47 \text{ A}}$$

$$V_{TM}' = (V_1/V_2) V_{TR} \quad (\text{Volt})$$

$$= (20000/400) \times ((228 + 225 + 226)/3)$$

$$= 50 \times 226,3 = \mathbf{11317 \text{ Volt}}$$

$$S_{TM}' = V_{TR}' \times I_{TR}' = 11317 \times 5,47$$

$$= \mathbf{61904 \text{ VA} \approx 62 \text{ kVA}}$$

Perhitungan untuk seluruh saluran sisi tegangan menengah, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Perhitungan beban sisi tegangan menengah

No	Nama Gardu	$I_{TM}'$ (Amp)	$V_{TM}'$ (Volt)	$S_{TM}'$ (kVA)
1	KTAKP1001	5,47	11317	62
2	KTAKP1002	3,49	11317	40
3	KTAKP1003	6,67	11267	75
4	KTAKP1004	2,07	11317	23
5	KTAKP1005	2,24	11350	25
6	KTAKP1006	4,79	11233	54
7	KTAKP1007	2,01	11283	23
8	KTAKP1008	4,51	11300	51
9	KTAKP1009	3,91	11150	44
10	KTAKP1010	2,92	11000	32
11	KTAKP1011	6,01	11200	67
12	KTAKP1012	3,47	11400	40
13	KTAKP1013	5,99	11267	67
14	KTAKP1014	2,47	11000	27
15	KTAKP1015	2,25	11000	25
16	KTAKP1016	1,97	11000	22
17	KTAKP1017	4,79	11033	53
18	KTAKP1018	2,07	11000	23
19	KTAKP1019	3,10	11000	34
20	KTAKP1020	2,47	11000	27
21	KTAKP1021	6,56	11267	74
22	KTAKP1022	2,47	11000	27
23	KTAKP1023	2,25	11000	25

Sumber: penulis, 2019

**4.3.2 Arus Nominal Trafo Dan Resistansi Tembaga Per Fasa**

Arus nominal transformator

$$I_N = \frac{S_{tr}}{\sqrt{3}V_1} = \frac{200}{1,73 \times 20} = 5,78 \text{ A}$$

Resistansi tembaga per fasa

$$R_{Cu} = \frac{P_{Cu1fasa}}{(I_N)^2} = \frac{2850/3}{578^2} = 28,43 \Omega$$

Perhitungan arus nominal trafo dan resistansi tembaga per fasa, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5. Perhitungan beban sisi tegangan menengah

No.	Gardu	Kapasitas Trafo (kVA)	Tegangan Primer Trafo (kV)	Arus Nominal Trafo	Rcu ( $\Omega$ )
1	KTAKP1001	200	20	5,78	28,43
2	KTAKP1002	250	20	7,23	20,75
3	KTAKP1003	250	20	7,23	19,15
4	KTAKP1004	200	20	5,78	28,43
5	KTAKP1005	200	20	5,78	28,43
6	KTAKP1006	200	20	5,78	28,43
7	KTAKP1007	200	20	5,78	28,43
8	KTAKP1008	400	20	11,56	11,47
9	KTAKP1009	315	20	9,10	15,68
10	KTAKP1010	200	20	5,78	28,43
11	KTAKP1011	250	20	7,23	19,15
12	KTAKP1012	250	20	7,23	19,15
13	KTAKP1013	250	20	7,23	20,75
14	KTAKP1014	200	20	5,78	23,94
15	KTAKP1015	200	20	5,78	23,94
16	KTAKP1016	200	20	5,78	28,43
17	KTAKP1017	200	20	5,78	28,43
18	KTAKP1018	200	20	5,78	28,43
19	KTAKP1019	200	20	5,78	28,43
20	KTAKP1020	200	20	5,78	23,94
21	KTAKP1021	250	20	7,23	19,15
22	KTAKP1022	200	20	5,78	23,94
23	KTAKP1023	200	20	5,78	28,43

Sumber: penulis, 2019

**4.3.3 Rugi Trafo Pada Saat Pembebanan**

Perhitungan rugi transformator pada saat pembebanan, dihitung per fasa pada setiap gardu distribusi dan setiap pembebanan. Nilai rugi besi bersifat konstan, sedangkan nilai rugi tembaga bergantung pada besar arus beban.

**Rugi tembaga :**

1. Fasa R

$$P_{Cu} = I_{TM}^2 R_{Cu} = 3^2 \times 28,43 = 256 \text{ Watt}$$

2. Fasa S

$$P_{Cu} = I_{TM}^2 R_{Cu} = 2,8^2 \times 28,43 = 223 \text{ Watt}$$

3. Fasa T

$$P_{Cu} = I_{TM}^2 R_{Cu} = 2,4^2 \times 28,43 = 164 \text{ Watt}$$

4. Rata-rata

$$P_{Cu} = \frac{(P_{Cu \text{ fasa R}} + P_{Cu \text{ fasa S}} + P_{Cu \text{ fasa T}})}{3} = \frac{(256 + 223 + 164)}{3} = 214 \text{ Watt}$$

**Rugi transformator**

$$P_{Tr} = P_{C1fasa} + P_{Cu1fasa} = 214 + 550 = 764 \text{ Watt}$$

$$S_{Tr} = \frac{P_{Tr}/\cos\phi}{1000} = \frac{214/0,85}{1000} = 0,90 \text{ kVA}$$

**Prosentasi rugi transformator**

$$\%S_{Tr} = \frac{S_{Tr}}{S_{TM}'} \times 100 = \left(\frac{0,90}{62}\right) \times 100 = 1,45 \%$$

Perhitungan rugi transformator pada saat pembebanan, dapat dilihat pada tabel berikut :



Tabel 6. Perhitungan rugi trafo pada saat pembebanan

No.	Gardu	P <sub>cu</sub> (Watt)				P <sub>c</sub> (Watt)	Rugi Trafo		% S <sub>TR</sub>
		R	S	T	Rata-Rata		P <sub>TR</sub> (Watt)	S <sub>TR</sub> (kVA)	
1	KTAKP1001	236	223	164	214	550	764	0,90	1,45
2	KTAKP1002	67	47	75	63	650	713	0,84	2,12
3	KTAKP1003	129	184	354	223	600	823	0,97	1,29
4	KTAKP1004	23	56	18	32	550	582	0,69	2,93
5	KTAKP1005	41	23	41	35	550	585	0,69	2,71
6	KTAKP1006	150	207	125	161	550	711	0,84	1,55
7	KTAKP1007	41	34	10	29	550	579	0,68	3,00
8	KTAKP1008	37	26	141	68	930	998	1,17	2,30
9	KTAKP1009	76	57	45	59	770	829	0,98	2,24
10	KTAKP1010	82	92	23	66	550	616	0,72	2,26
11	KTAKP1011	161	184	209	185	600	785	0,92	1,37
12	KTAKP1012	32	69	77	59	600	659	0,78	1,96
13	KTAKP1013	140	120	151	137	550	687	0,81	1,20
14	KTAKP1014	34	34	29	33	600	633	0,74	2,74
15	KTAKP1015	47	54	40	47	600	647	0,76	3,07
16	KTAKP1016	28	28	48	35	550	585	0,69	3,17
17	KTAKP1017	125	125	138	129	550	679	0,80	1,51
18	KTAKP1018	34	28	41	35	550	585	0,69	3,02
19	KTAKP1019	73	73	92	79	550	629	0,74	2,17
20	KTAKP1020	40	34	34	36	600	636	0,75	2,75
21	KTAKP1021	150	140	150	147	600	747	0,88	1,19
22	KTAKP1022	34	34	29	33	600	633	0,74	2,74
23	KTAKP1023	56	56	64	58	550	608	0,72	2,89

Sumber: penulis, 2019

4.3.4 Perhitungan Daya Dan Arus Sisi Primer Trafo

Daya pada sisi tegangan menengah

$$S_{TM} = S'_{TM} + S_{Tr} = 62 + 0,90 = 63 \text{ kVA}$$

Arus pada sisi tegangan menengah

$$I_{TM} = \frac{S_{TM}}{V_{TM}} = \frac{63}{20} = 3,14 \text{ Ampere}$$

Perhitungan daya dan arus pada sisi primer trafo, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7. Perhitungan daya dan arus sisi primer trafo

No	Nama Gardu	S <sub>TM</sub> (kVA)	I <sub>TM</sub> (A)
1	KTAKP1001	63	3,14
2	KTAKP1002	40	2,02
3	KTAKP1003	76	3,80
4	KTAKP1004	24	1,20
5	KTAKP1005	26	1,31
6	KTAKP1006	55	2,73
7	KTAKP1007	23	1,17
8	KTAKP1008	52	2,61
9	KTAKP1009	45	2,23
10	KTAKP1010	33	1,64
11	KTAKP1011	68	3,41
12	KTAKP1012	40	2,01
13	KTAKP1013	68	3,41
14	KTAKP1014	28	1,40
15	KTAKP1015	26	1,28
16	KTAKP1016	22	1,12
17	KTAKP1017	54	2,68
18	KTAKP1018	23	1,17
19	KTAKP1019	35	1,74
20	KTAKP1020	28	1,40
21	KTAKP1021	75	3,74
22	KTAKP1022	28	1,40
23	KTAKP1023	26	1,28

Sumber: penulis, 2019

4.3.5 Rugi Saluran Antara Dua Titik

Perhitungan rugi saluran antara dua titik, misalnya titik X – Y, dihitung untuk setiap segmen, antara titik satu dengan titik yang lainnya, dan dihitung pada masing-masing fasa.

Rugi saluran

$$P_{Sal} = I_{TM}^2 \cdot r \cdot l = 3,14^2 \times 0,438 \times 2,449 = 11,11 \text{ Watt}$$

$$S_{Sal} = \frac{P_{Sal}}{\cos\phi} = \frac{11,11}{0,85} = 13,07 \text{ VA}$$

Prosentasi rugi saluran

$$\%S_{Sal} = \frac{S_{Sal}}{S_{TM}} \times 100\% = \frac{13,07}{63000} = 0,021 \%$$

Rugi saluran seluruh penyulang Karpan I, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 8. Perhitungan rugi saluran

No.	Gardu		P <sub>Saluran</sub> (Watt)	S <sub>Saluran</sub> (VA)	S <sub>Saluran</sub> (%)
	Awal	Akhir			
1	Karpan I	KTAKP1001	11,11	13,07	0,021
2	KTAKP1001	KTAKP1002	0,94	1,11	0,003
3	KTAKP1002	KTAKP1003	1,76	2,07	0,003
4	KTAKP1003	KTAKP1004	0,60	0,71	0,003
5	KTAKP1004	KTAKP1005	0,59	0,69	0,003
6	KTAKP1005	KTAKP1006	1,06	1,25	0,002
7	KTAKP1006	KTAKP1007	1,65	1,94	0,002
8	KTAKP1007	KTAKP1008	3,94	4,64	0,009
9	KTAKP1008	KTAKP1009	2,84	3,34	0,007
10	KTAKP1009	KTAKP1010	1,45	1,70	0,005
11	KTAKP1010	KTAKP1011	0,62	0,72	0,001
12	KTAKP1009	KTAKP1012	0,53	0,63	0,002
13	KTAKP1012	KTAKP1013	2,76	3,25	0,005
14	KTAKP1013	KTAKP1014	0,20	0,23	0,001
15	KTAKP1014	KTAKP1015	0,18	0,21	0,001
16	KTAKP1015	KTAKP1016	0,10	0,11	0,001
17	KTAKP1013	KTAKP1017	1,28	1,50	0,003
18	KTAKP1017	KTAKP1018	0,15	0,17	0,001
19	KTAKP1018	KTAKP1019	0,46	0,54	0,002
20	KTAKP1019	KTAKP1020	0,33	0,39	0,001
21	KTAKP1020	KTAKP1021	3,57	4,20	0,006
22	KTAKP1018	KTAKP1022	0,27	0,31	0,001
23	KTAKP1022	KTAKP1023	0,16	0,19	0,001

Sumber: penulis, 2019

4.3.6 Rugi Total Pada JTM

Perhitungan rugi total pada jaringan tegangan menengah berikut.

$$P_{Total} = P_{Tr} + P_{Sal} = 764,2 + 11,1 = 775,31 \text{ Watt}$$

Rugi-rugi daya total penyulang Karpan I, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9. Perhitungan rugi JTM

No.	Gardu	Gardu		P <sub>TR</sub> (Watt)	P <sub>Saluran</sub> (Watt)	P <sub>Total</sub> (Watt)
		Awal	Akhir			
1	KTAKP1001	Karpan I	KTAKP1001	764,2	11,1	775,31
2	KTAKP1002	KTAKP1001	KTAKP1002	712,9	0,9	713,89
3	KTAKP1003	KTAKP1002	KTAKP1003	822,6	1,8	824,34
4	KTAKP1004	KTAKP1003	KTAKP1004	582,3	0,6	582,92
5	KTAKP1005	KTAKP1004	KTAKP1005	585,0	0,6	585,56
6	KTAKP1006	KTAKP1005	KTAKP1006	711,0	1,1	712,08
7	KTAKP1007	KTAKP1006	KTAKP1007	861,0	1,6	862,61
8	KTAKP1008	KTAKP1007	KTAKP1008	997,8	3,9	1001,78
9	KTAKP1009	KTAKP1008	KTAKP1009	829,3	2,8	832,12
10	KTAKP1010	KTAKP1009	KTAKP1010	615,8	1,4	617,22
11	KTAKP1011	KTAKP1010	KTAKP1011	784,6	0,6	785,20
12	KTAKP1012	KTAKP1009	KTAKP1012	659,4	0,5	659,91
13	KTAKP1013	KTAKP1012	KTAKP1013	687,0	2,8	689,79
14	KTAKP1014	KTAKP1013	KTAKP1014	632,6	0,2	632,84
15	KTAKP1015	KTAKP1014	KTAKP1015	647,1	0,2	647,26
16	KTAKP1016	KTAKP1015	KTAKP1016	585,0	0,1	585,07
17	KTAKP1017	KTAKP1013	KTAKP1017	679,5	1,3	680,74
18	KTAKP1018	KTAKP1017	KTAKP1018	584,6	0,1	584,74
19	KTAKP1019	KTAKP1018	KTAKP1019	629,2	0,5	629,69
20	KTAKP1020	KTAKP1019	KTAKP1020	636,5	0,3	636,80
21	KTAKP1021	KTAKP1020	KTAKP1021	746,7	3,6	750,23
22	KTAKP1022	KTAKP1018	KTAKP1022	632,6	0,3	632,91
23	KTAKP1023	KTAKP1022	KTAKP1023	608,5	0,2	608,64

Sumber: penulis, 2019

**4.3.7 Presentasi Rugi (Susut) Daya Pada Jaringan Tegangan Menengah**

Perhitungan rugi total pada jaringan tegangan menengah berikut.

$$Daya_{Total} = Daya_{Tr} + Daya_{Sal} = 90972 + 53348,97$$

$$= 144320,64 \text{ Watt}$$

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

$$\frac{775,31}{144320,64} \times 100\%$$

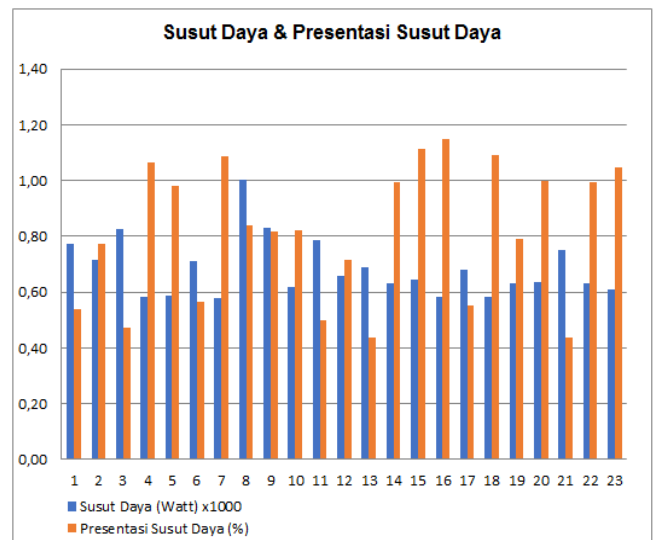
$$= 0,54 \%$$

Presentasi rugi (susut) daya penyulang Karpan I, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 10. Presentasi rugi daya pada JTM

No	Nama Gardu	Daya Saluran		Daya Trafo		Daya Total Watt	Rugi Total	
		kVA	Watt	kVA	Watt		Watt	%
1	KTAKP1001	63	53348,97	107,03	90972	144320,64	775,31	0,54
2	KTAKP1002	40	34315,90	68,39	58133	92449,01	713,89	0,77
3	KTAKP1003	76	64667,02	129,94	110451	175117,91	824,34	0,47
4	KTAKP1004	24	20461,93	40,46	34392	54853,66	582,92	1,06
5	KTAKP1005	26	22195,37	43,98	37386	59581,36	585,56	0,98
6	KTAKP1006	55	46479,37	93,15	79179	125658,60	712,08	0,57
7	KTAKP1007	23	19888,07	39,30	33406	53293,58	578,64	1,09
8	KTAKP1008	52	44348,41	88,23	74996	119344,89	1001,78	0,84
9	KTAKP1009	45	37854,72	75,36	64054	101908,72	832,12	0,82
10	KTAKP1010	33	27917,77	55,57	47232	75150,23	617,22	0,82
11	KTAKP1011	68	57968,05	116,39	98927	156895,45	785,20	0,50
12	KTAKP1012	40	34251,38	68,37	58114	92365,54	659,91	0,71
13	KTAKP1013	68	58019,34	116,69	99185	157204,23	689,79	0,44
14	KTAKP1014	28	23758,31	47,07	40007	63765,71	632,84	0,99
15	KTAKP1015	26	21715,75	42,88	36449	58164,55	647,26	1,11
16	KTAKP1016	22	19035,64	37,55	31920	50955,29	585,07	1,15
17	KTAKP1017	54	45632,94	91,49	77770	123402,46	680,74	0,55
18	KTAKP1018	23	19970,26	39,46	33537	53507,46	584,74	1,09
19	KTAKP1019	35	29614,23	58,99	50144	79758,28	629,69	0,79
20	KTAKP1020	28	23762,14	47,07	40007	63769,54	636,80	1,00
21	KTAKP1021	75	63569,59	127,86	108684	172253,27	750,23	0,44
22	KTAKP1022	28	23758,31	47,07	40007	63765,71	632,91	0,99
23	KTAKP1023	26	21677,14	42,88	36449	58125,94	608,64	1,05

Sumber: penulis, 2019



Sumber: penulis, 2019

**Gambar 3. Diagram susut daya dan presentasi susut daya**



## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data pada bab sebelumnya, terlihat bahwa presentasi susut (rugi) daya yang terjadi pada penyulang/*feeder* Karpan I kota Ambon dapat disimpulkan bahwa rugi/susut daya nyata penyulang 16031,66 Watt atau sebesar 18,10 % dibandingkan kapasitas beban penyulang yang sebesar 2349501,26 Watt, sedangkan rugi/susut daya nyata per gardu berkisar antara 582.92 Watt sampai dengan 1001,78 Watt. Susut daya terkecil terjadi pada gardu KTAKP1007 (0,42 %) dan susut daya terbesar terjadi pada gardu KTAKP1008 (1,15 %).

### 5.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisa hasil serta kesimpulan, maka disarankan sebagai berikut:

1. Untuk mengurangi rugi/susut daya pada penyulang, maka disarankan untuk memperbesar diameter kawat penghantar, yang awalnya 70 mm<sup>2</sup> menjadi 95 mm<sup>2</sup> atau 120 mm<sup>2</sup>.
2. Pembagian beban pada trafo secara merata antara fasa R, S dan T, agar tidak terjadi kerugian tegangan yang berlebihan, yang nantinya mempengaruhi kerugian atau susut daya trafo secara keseluruhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.Kadir, Ir, 1989. Transformator, Penerbit, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta,
- Arismunandar & Kuwahara. 1979. Teknik Tenaga Listrik Jilid III. Pradnya Paramita. Jakarta.
- A.S. Pabla dan A.Hadi, 1989. Sistem Distribusi Daya Listrik, Penerbit Erlangga, Jakarta,
- Kadir, Abdul. 1979. Transformator. Pradya Paramita. Jakarta
- Standard PLN 50, 1997. Spesifikasi Transformator Distribusi.
- PT. PLN, 1981. SPLN ( Standar Perusahaan Umum Listrik Negara) 41-8.1981 dan 72.1987 "Hantaran Alumunium Campuran (AAAC)" dan "Spesifikasi Desain Untuk JTM dan JTR.",
- PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik), 2000. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta,
- Sulasno, 2000, Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sumanto. 1991. Teori Transformator. Yogyakarta. Andi Offset. Yogyakarta.
- T.S. Hutauruk, 1993. Transmisi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta,
- Unindo (---), Three Phase Transformer Data.
- Zuhul. 1994. Ketenagaan Listrik Indonesia. Penerbit : ITB. Bandung.