

**SKRIPSI**

**ANALISIS SUSUT ENERGI (*LOSSES*)  
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (20 KV)  
DI PT PLN (PERSERO) RAYON KLAKAH AREA JEMBER**



**OLEH :**

**DHIVA FENERANDA KAMALIA  
K105 82 1645 15**

**JURUSAN TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2018**

**ANALISIS SUSUT ENERGI (*LOSSES*)  
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (20 KV)  
DI PT PLN (PERSERO) RAYON KLAKAH AREA JEMBER**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Sarjana  
Program Studi Teknik Listrik  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh

**DHIVA FENERANDA KAMALIA**  
**K105 82 1645 15**

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
MAKASSAR

2018



# FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **Analisis Susut Energi (Losses) Jaringan Tegangan Menengah (20 KV) di PT PLN (Persero) Rayon Klakah Area Jember**

Nama : Dhiva Feneranda Kamalia

Stambuk : K105 82 1645 15

Makassar, 13 Februari 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Dr. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

NBM : 990 410





# FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Dhiva Feneranda Kamalia dengan nomor induk Mahasiswa K10582 1645 15 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0002/SK-Y/20201/091004/2018, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 12 Februari 2018.

Panitia Ujian :

Makassar, 27 Jumadil Awal 1439 H  
13 Februari 2018 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Ir. Abdul Hafid, M.T

b. Sekertaris : Mutmainnah, S.T., M.T

3. Anggota

: 1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

2. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

3. Adriani, S.T., M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

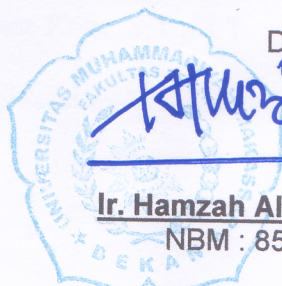
Dr. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

NBM : 855 500





## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini dan diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan Akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Teknik Listrik Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun Judul tugas akhir adalah : ”Analisis Susut Energy (*Losses*) Jaringan Tegangan Menengah (20 KV) di PT PLN (Persero) Rayon Klakah Area Jember”.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada

1. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Umar Katu, S.T.,M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri, M.Eng. selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal Ahdiyat Duyo, S.T.,M.T selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu untuk melakukan bimbingan.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai di Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Bapak Kadek Adi Dwi Purwaka selaku Manajer Rayon Klakah dan Bapak Chuzaini selaku Supervisor Teknik serta seluruh pegawai PLN Rayon Klakah yang telah memberikan banyak bantuan dan bimbingan selama penelitian.
6. Ayahanda dan Ibunda penulis yang banyak memberi dukungan moril dan spiritual.
7. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus Angkatan Konversi 2015 dan Nonreg 2014, 2015 dan 2016 dengan keakraban dan persaudarannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin.

Makassar, 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	i
DAFTAR TABEL .....	iv
ABSTRAK .....	vii
1 BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	2
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik.....	6
2.1.1 Sistem Pendistribusian Langsung .....	6
2.1.2 Sistem Pendistribusian Tak Langsung.....	7
2.2 Struktur Jaringan Distribusi .....	7
2.2.1 Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Listrik.....	8
2.2.2 Jaringan Distribusi Primer .....	8
2.2.3 Gardu Pembagi atau Gardu Distribusi .....	10
2.2.4 Jaringan Distribusi Sekunder .....	10
2.3 Losses pada Jaringan Distribusi .....	11
2.4 Rugi-rugi Sistem Distribusi .....	11
2.4.1 Rugi-Rugi Transformator.....	11

2.4.2	Efisiensi Transformator .....	12
2.4.3	Rugi–Rugi Jaringan .....	12
2.5	Usaha Memperbaiki Losses .....	19
2.5.1	Membangun Pembangkit Pengatur Tegangan .....	20
2.5.2	Membangun Gardu Induk Baru dan Jaringan Baru .....	20
2.5.3	Pemindahan Beban ke Penyulang Lain .....	21
2.5.4	Penyeimbangan Beban.....	21
2.5.5	Memperbesar Tegangan Kirim ( <i>Tap Changer</i> Trafo) .....	21
2.5.6	Memperbesar Penampang Penghantar.....	22
2.5.7	Pengaturan Tegangan Penyulang Menggunakan Alat Pengatur Tegangan (Regulator Tegangan) .....	22
<b>3</b>	<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
3.1	Penurunan Susut di Jaringan 20 kV .....	24
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	24
3.3	Langkah Pelaksanaan .....	25
3.4	Metode Pelaksanaan.....	26
<b>4</b>	<b>BAB IV .....</b>	<b>29</b>
4.1	Penurunan susut dan <i>saving energy</i> listrik (kWh).....	29
4.2	Penyeimbangan beban trafo .....	29
4.2.1	Perhitungan susut ( <i>losses</i> ).....	31
4.2.2	<i>Saving</i> kWh.....	32
4.3	Penggantian Tap Konektor dan Baut – baut pada PHBTR .....	33
4.3.1	Perhitungan Susut ( <i>losses</i> ).....	33
4.3.2	<i>Saving</i> (kWh) .....	34



4.4	<i>Tap Changer Transformator</i> .....	35
4.4.1	Hasil pelaksanaan <i>Tap Changer</i> Trafo .....	36
4.4.2	Perhitungan susut ( <i>losses</i> ).....	36
4.4.3	<i>Saving</i> (kWh).....	38
4.5	Total Perolehan Susut dan <i>Saving</i> (kWh) .....	38
5	BAB V .....	40
5.1	Kesimpulan .....	40
5.2	Saran.....	40
6	DAFTAR PUSTAKA.....	41

## DAFTAR TABEL

Gambar 2.1 Proses Penyediaan Tenaga Listrik (Pembangkitan dan Penyaluran) ....	4
Gambar 2.2 Proses Penyaluran Tenaga Listrik ke Konsumen.....	5
Gambar 2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.4 Sistem Pendistribusian Langsung dan Tak Langsung .....	7
Gambar 2.5 Gardu Induk .....	8
Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Primer 20 Kv .....	9
Gambar 2.7 Gardu Distribusi Jenis Tiang .....	10
Gambar 2.8 Jaringan Distribusi Sekunder 220 V .....	11
Tabel 3.1. Neraca Rayon Klakah .....	26
Tabel 3.2 <i>Action Plan</i> dari sisi Teknis .....	26
Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Sebelum Penyeimbangan Beban .....	30
Tab 4.2. Data Hasil Pengukuran Sesudah Penyeimbangan Beban .....	30
Tabel 4.3. Data panjang jaringan .....	31
Tabel 4.4. Perhitungan susut .....	32
Tabel 4.5. Data Perhitungan <i>Saving</i> kWh .....	32
Tabel 4.6. Data Penggantian <i>Tap Connector</i> dan Baut – Baut pada PHBTR .....	33
Tabel 4.7. Perhitungan penurunan <i>losses</i> dan <i>saving</i> kWh .....	35
Tabel 4.8. Tegangan pelayanan .....	35
Tabel 4.9. Data Hasil Pengukuran Sebelum <i>Tap Changer</i> .....	36
Tabel 4.10. Data Hasil Pengukuran Setelah <i>Tap Changer</i> .....	36
Tabel 4.11. Perhitungan susut sebelum dilakukan <i>tap changer</i> .....	37



Tabel 4.12. Perhitungan susut sesudah dilakukan <i>tap changer</i> .....	37
Tabel 4.13. Data Hasil Perolehan <i>Saving</i> kWh.....	38
Tabel 4.14. Total Perolehan Susut dan <i>Saving</i> kWh.....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Penyediaan Tenaga Listrik (Pembangkitan dan Penyaluran) .....	4
Gambar 2.2 Proses Penyaluran Tenaga Listrik ke Konsumen.....	5
Gambar 2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.4 Sistem Pendistribusian Langsung dan Tak Langsung .....	7
Gambar 2.5 Gardu Induk .....	8
Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Primer 20 KV .....	9
Gambar 2.7 Gardu Distribusi Jenis Tiang .....	10
Gambar 2.8 Jaringan Distribusi Sekunder 220 V .....	11



Dhiva Feneranda Kamalia<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar  
email: [kamalia.df@gmail.com](mailto:kamalia.df@gmail.com)

## ABSTRAK

Dalam penyaluran tenaga listrik terdapat suatu faktor rugi daya atau *losses* tenaga listrik yang berdampak pada tidak andalnya kualitas daya yang dihantarkan ke pelanggan dan mengurangi penjualan daya oleh PLN. Susut disebabkan oleh beberapa faktor seperti jarak saluran listrik yang terlalu jauh, ketidakseimbangan beban, sambungan (*connector*) konduktor yang panas dll. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan dengan beberapa cara yaitu penggantian tap konektor pada PHB-TR, penyeimbangan beban trafo dan tap changer trafo dimana perbaikan tersebut bertujuan untuk mendapatkan besar penurunan susut/*losses* setelah dilakukan perbaikan dan besar *saving* (kWh) yang dapat disimpan PLN. Setelah dilakukan analisa maka diperoleh total penurunan susut sebesar 2,9824 W dan *saving* energi 1716,36 kWh dimana penyeimbangan beban trafo mempunyai pengaruh besar untuk menurunkan susut sebesar 1,9589 W dengan *saving* sebesar 914,70 kWh.

**Kata kunci:** susut, *losses*, *Tap Changer*, *Tap Connector*, penyeimbangan beban,

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam penyaluran tenaga listrik terdapat suatu faktor rugi daya atau susut (*losses*) dimana hilangnya energi yang berdampak pada tidak andalnya kualitas daya yang dihantarkan ke pelanggan. Penyebab susut ada beberapa faktor seperti jarak saluran listrik yang terlalu jauh, ketidakseimbangan beban, sambungan (*connector*) konduktor yang panas dll. Adapun macam-macam susut dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- susut teknis terjadi karena adanya impedansi pada komponen listrik sehingga daya hilang berupa panas.
- susut non teknis terjadi karena ketidakakuratan pengukuran dan pemakaian energi listrik di sisi pelanggan.

Untuk mengurangi potensi yang dapat mengakibatkan tingginya susut/*losses* maka dilakukan perbaikan untuk menekan susut dari segi teknis yaitu melaksanakan kegiatan penyeimbangan beban trafo, penggantian tap konektor pada PHB-TR dan jaringan serta *tap changer* trafo. Dari perbaikan tersebut akan diketahui berapa besar penurunan susut dan *saving energy* (kWH) setelah dilakukan perbaikan. Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis mengambil judul laporan akhir “Analisis Susut Energi (*Losses*) Jaringan Tegangan Menengah (20 KV) di PT PLN (Persero) Rayon Klakah Area Jember”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa besar penurunan susut teknis dengan dilakukan perbaikan?
2. Berapa *saving* (kWH) dari penurunan susut tersebut?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mendapatkan besar penurunan susut/*losses* setelah dilakukan perbaikan.
2. Mendapatkan besar *saving* (kWH).

## **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah sebagai berikut:

1. Perbaikan susut sebatas di jaringan tegangan menengah (20 kV).
2. Perbaikan susut dari segi teknis.
3. Lokasi perbaikan susut di PLN Rayon Klakah Area Jember.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini, yaitu:

1. Hasil perbaikan susut bisa dijadikan referensi untuk dilakukan kegiatan *preventif* susut tenaga listrik.
2. Mendapatkan nilai penurunan susut jaringan 20 kV dan *saving* kWh.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan akhir ini terdiri atas lima bab, yaitu :

Bab I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan, dan penjelasan istilah yang ada di dalam laporan akhir ini.

## Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Yaitu penulisan laporan akhir ini berdasarkan pada referensi-referensi yang digunakan.

## Bab III METODOLOGI

Berisi tentang beberapa data yang digunakan, tahap-tahap pengambilan data, perhitungan besar penurunan susut serta *saving* kWh.

## Bab IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang menganalisa metode yang paling berpengaruh dalam penurunan susut, mengevaluasi hasil penurunan susut sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan serta menghitung *saving* kWh.

## Bab V PENUTUP

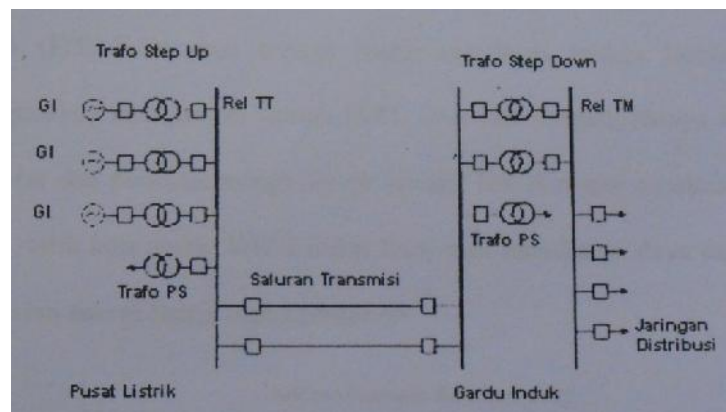
Berisi tentang kesimpulan dan saran pembuatan laporan akhir.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam proses penyaluran energi listrik, tenaga listrik dibangkitkan oleh suatu pusat pembangkit listrik, selanjutnya tenaga listrik disalurkan (ditransmisikan) melalui jaringan transmisi. Tegangan transmisi yang digunakan PLN yaitu 70 kV, 150 kV, 275 kV dan 500 kV. Dari jaringan transmisi selanjutnya didistribusikan kepada para konsumen tenaga listrik melalui jaringan distribusi tenaga listrik.



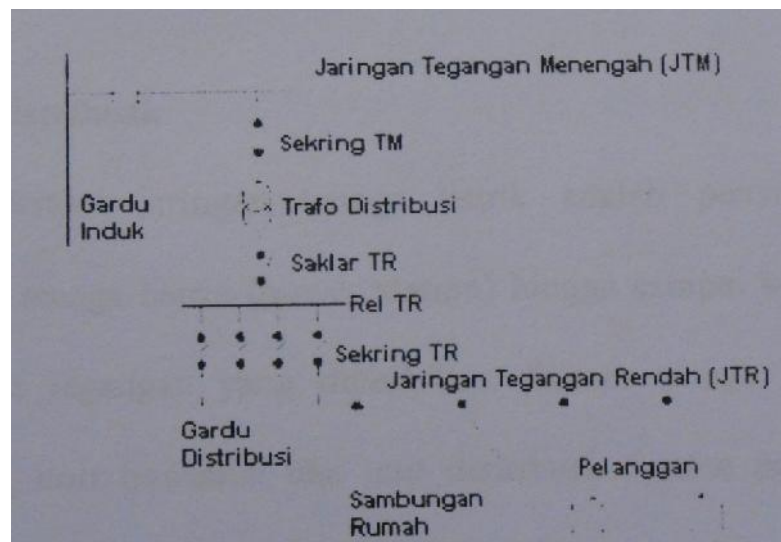
Gambar 2.1 Proses Penyediaan Tenaga Listrik (Pembangkitan dan Penyaluran)

Sumber: Suswanto Daman, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

1. *Trafo Step Up* : Transformator untuk menaikkan tegangan listrik
2. *Trafo Step Down* : Transformator untuk menurunkan tegangan listrik
3. Trafo PS : Transformator untuk pemakaian sendiri
4. Rel TT : Rel Tegangan Tinggi
5. Rel TM : Rel Tegangan Menengah

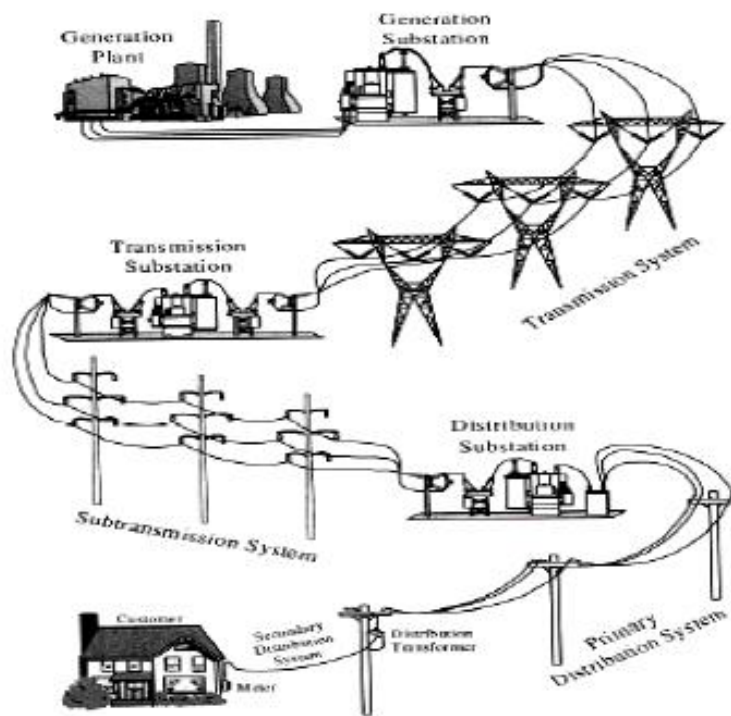
Saluran transmisi dapat berupa saluran kabel udara atau saluran kabel tanah. PT. PLN (Persero) menggunakan frekuensi 50 Hz. Di Gardu Induk (GI), tegangan diturunkan menjadi tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang digunakan PT. PLN (Persero) adalah 20 kV. Proses penyaluran tenaga listrik bagi konsumen ditunjukkan dalam Gambar 2.1 dan Gambar 2.2

Dari Gardu Induk (GI), tenaga listrik didistribusikan melalui penyulang. Penyulang distribusi dapat berupa saluran udara atau melalui saluran kabel tanah. pada penyulang–penyulang distribusi terdapat gardu–gardu distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan distribusi primer menjadi tegangan rendah 380/220 volt yang didistribusikan melalui jaringan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan menggunakan sambungan rumah (SR). Dari sambungan rumah, tenaga listrik masuk ke alat pembatas dan pencatat tenaga listrik berupa kWh meter yang berfungsi untuk membatasi daya dan mencatat besarnya pemakaian energi listrik ke konsumen.



Gambar 2.2 Proses Penyaluran Tenaga Listrik ke Konsumen

Sumber: Suswanto Daman, Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sumber: Suswanto Daman, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

## 2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power station*) hingga konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi, dan unit distribusi. Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung (*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Daman Suswanto).

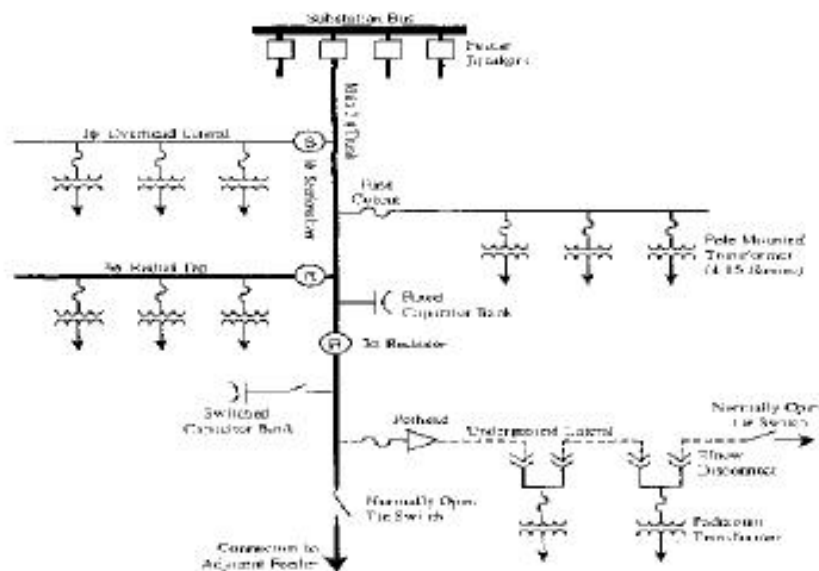
### 2.1.1 Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, dan tidak

melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini digunakan jika Pusat Pembangkit Tenaga Listrik berada tidak jauh dari pusat pusat beban, biasanya terletak di daerah pelayanan beban atau dipinggiran kota.

### 2.1.2 Sistem Pendistribusian Tak Langsung

Sistem pendistribusian tak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika Pusat Pembangkit Tenaga Listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.



Gambar 2.4 Sistem Pendistribusian Langsung dan Tak Langsung

Sumber: Daman Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

## 2.2 Struktur Jaringan Distribusi

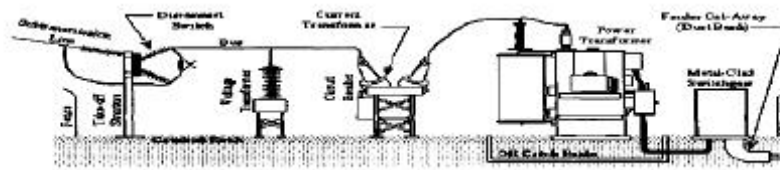
Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu:



### 2.2.1 Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Listrik

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Biasanya Pusat Pembangkit Tenaga Listrik terletak di pinggiran kota dan pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Jika sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer (Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Daman Suswanto).



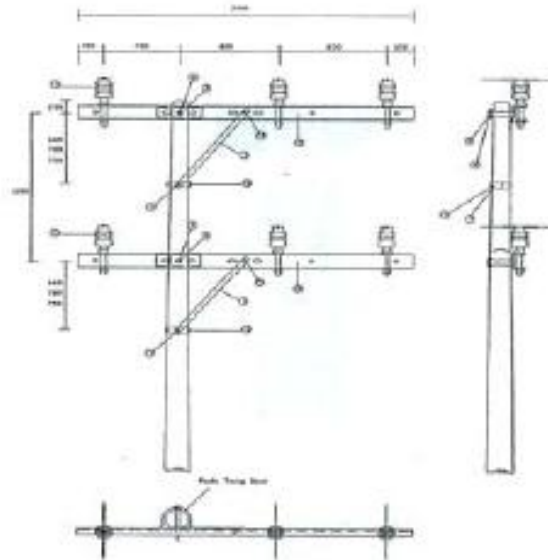
Gambar 2.5 Gardu Induk

Sumber: Daman Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 2.2.2 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dan jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau Jaringan Distribusi Tegangan Tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi

gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi dan telepon.



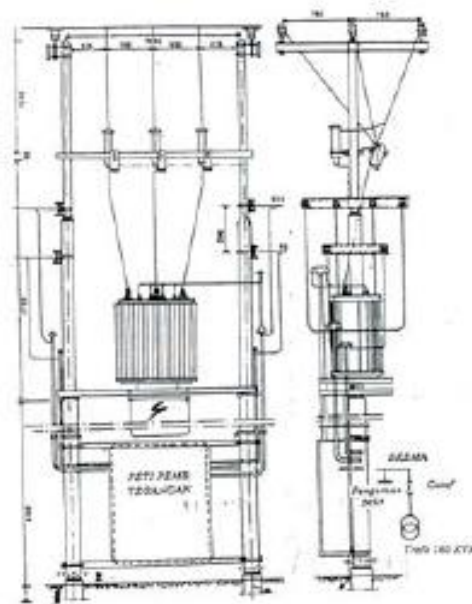
Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Primer 20 kV

Sumber: Daman Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota, dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya ada konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen (Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Daman Suswanto)

### 2.2.3 Gardu Pembagi atau Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada Gardu Pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga fasa (Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Daman Suswanto)



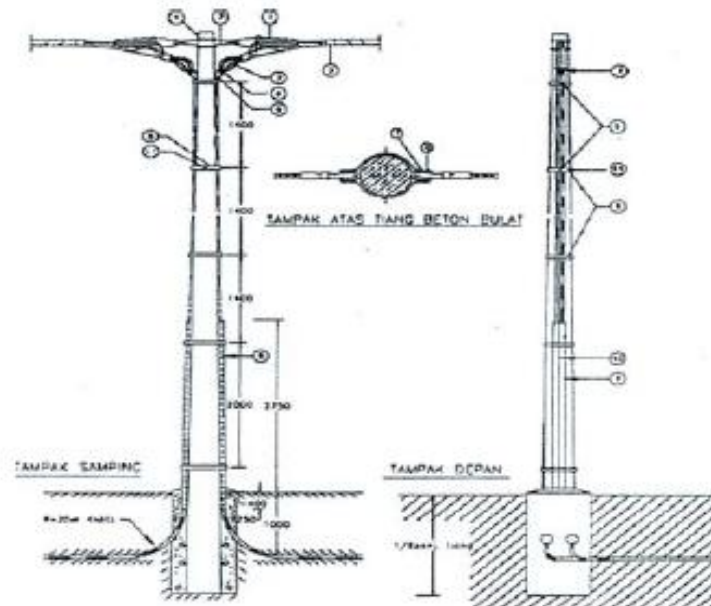
Gambar 2.7 Gardu Distribusi Jenis Tiang

Sumber: Daman Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 2.2.4 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 230/400 V untuk sistem

baru. Tegangan 130 V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa.



Gambar 2.8 Jaringan Distribusi Sekunder 220 V

Sumber: Daman Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 2.3 Losses pada Jaringan Distribusi

Dalam mendistribusikan energi listrik ke konsumen, PT. PLN (Persero) sering mengalami susut/*losses* energi yang dapat menyebabkan kerugian. Yang dimaksud *Losses* adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan ( $P_x$ ) dengan energi listrik listrik terpakai ( $P_p$ )

$$Losses = \frac{P_x - P_p}{P_x} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

### 2.4 Rugi-rugi Sistem Distribusi

#### 2.4.1 Rugi-Rugi Transformator

Rugi-rugi transformator terdiri dari rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga. Disebabkan oleh perubahan arus beban, sedangkan rugi-rugi inti disebabkan oleh

fluksi pada inti. Rugi–rugi inti dapat dikelompokkan dalam dua bagian yaitu rugi histeris dan rugi karena arus pusar. Sumber rugi yang lain adalah kerugian dielektrik pada isolasi, tetapi biasanya kerugian ini kecil dan dapat diabaikan.

#### 2.4.2 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator pada umumnya dihitung berdasarkan daya keluar dibagi dengan daya masuk, atau dalam bentuk persamaan adalah:

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada umumnya pabrikan transformator sudah menentukan efisiensi dari transformator yang dijualnya, yaitu sekitar 99%. Sehingga rugi daya transformator untuk segala beban adalah 1% dari beban yang ditanggungnya.

#### 2.4.3 Rugi–Rugi Jaringan

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan dimulai dari penyulang sampai sepanjang saluran Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran yang mempunyai nilai resistan, induktan dan kapasitan sepanjang saluran, maka akan terjadi penurunan tegangan. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan atau dialirkan dari Gardu Induk dengan daya yang terjual ke pelanggan listrik. Rugi–rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan.

Nilai dari rugi daya pada jaringan merupakan nilai unjuk kerja jaringan listrik dalam menyalurkan energi listrik dari pusat–pusat pembangkit sampai ke pusat–pusat beban. Susut tegangan pada sistem distribusi tegangan menengah sangat dipengaruhi oleh tingkat pembebanan, penampang konduktor, rugi–rugi

transformator dan rugi-rugi kontak sambungan pada jaringan tersebut. (Analisa Losses Teknik pada System Kelistrikan, Usman Tahir)

### 2.4.3.1 Penghantar

Penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menghantarkan tenaga listrik pada sistem saluran udara dari Pusat Pembangkit ke Pusat-pusat Beban (*load center*), baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan untuk saluran udara didasarkan pada besarnya beban yang dilayani, makin luas beban yang dilayani makin besar ukuran penampang kawat penghantar yang digunakan. Dengan penampang kawat yang besar akan membuat tahanan kawat menjadi kecil.

Tahanan jenis inilah yang merupakan salah satu faktor untuk menentukan besarnya tahanan resistansi (R) dalam suatu penghantar, disamping faktor-faktor luas penampang (A) dan panjang kawat (l) pada suatu penghantar jaringan.

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : R = besarnya tahanan kawat ( $\Omega$ )

$\rho$  = nilai tahanan jenis kawat (m/mm)

L = panjang kawat penghantar (m)

A = luas penampang kawat ( $\text{mm}^2$ )

Makin panjang suatu jaringan makin jauh pula jarak tempuh arus listrik dan makin besar tahanan kawat tersebut. Begitu pula makin besar diameter kawat makin lebar ukuran beban yang harus dilayani.



Rugi tegangan yang ditimbulkan oleh resistensi penghantar, perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis penghantar sebagai penyalur tenaga listrik. Untuk pemilihan penghantar yang akan digunakan pada saluran transmisi maupun distribusi harus memperhatikan beberapa faktor antara lain:

- a. Daya hantar dari penghantar
- b. Besar/penampang penghantar
- c. Resistansi penghantar per satuan panjang
- d. Kuat listrik
- e. Ekonomis

Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan penghantar adalah:

- a. Tembaga
- b. Aluminium
- c. Campuran logam di atas dengan logam lain

Dalam pemilihan penghantar dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

- a. Daya yang akan disalurkan
- b. Beban hubung singkat
- c. Keadaan lingkungan, keadaan ekonomi dan ketahanan

Macam penghantar telanjang yang digunakan dalam sistem Jaringan Tegangan Menengah antara lain:

- a. *AAC (All Aluminium Conductor)*, merupakan jenis penghantar yang terbuat dari aluminium murni
- b. *AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)* merupakan penghantar yang terbuat dari bahan aluminium campuran, penghantar ini mempunyai kekuatan mekanis yang lebih baik dari penghantar AAC

- c. *ACSR (Alluminium Conductor Steel Reinforced)* adalah penghantar yang mempergunakan dua jenis logam yaitu alluminium dan baja sebagai penguat.

Selain dari pada itu, besarnya tahanan suatu kawat penghantar akan berubah karena pengaruh suhu. Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi panas kerana pada penghantar tersebut terdapat resistansi.

$$R_t = R_{t_0} \{1 + \alpha(t - t_0)\} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Dimana:
- $R_t$  = besarnya kenaikan pada suhu  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - $R_{t_0}$  = besarnya tahanan pada suhu semula ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - $t$  = suhu sekarang ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - $t_0$  = suhu mula – mula ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - $\alpha$  = koefisien suhu

#### 2.4.3.2 Impedansi Saluran

Pada dasarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi adalah sebagai akibat dari impedansi seluruh jaringan itu sendiri. Impedansi jaringan tersebut besarnya dipengaruhi oleh hambatan (resistansi) serta reaktannya karena impedansi

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2.5)$$

- Dimana:
- $Z$  = impedansi ( $\Omega$ )
  - $R$  = resistansi penghantar ( $\Omega/\text{km}$ )
  - $X$  = reaktansi penghantar ( $\Omega/\text{km}$ )

Sehingga impedansi saluran dapat dicari melalui persamaan:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

**2.4.3.3 Macam–macam Rugi Daya**

Macam rugi–rugi daya dapat dibedakan menjadi:

- a. *Losses* teknik merupakan susut yang disebabkan oleh sifat daya hantar material/peralatan listrik itu sendiri yang sangat bergantung dari kualitas dan bahan dari material/peralatan listrik yang mengandung unsur resistif dan reaktif.
- b. *Losses* non teknis merupakan susut yang terjadi karena kesalahan baca meter, kesalahan memasukkan data, pencurian dan lain–lain yang penyebabnya bukan karena sifat dari bahan material atau peralatan listrik.

**2.4.3.4 Perhitungan Losses Teknik**

Untuk menghitung losses secara teknik memerlukan data–data aset per unit meliputi:

- 1. Single Line Diagram penyulang yang akan diukur (Jaringan Tegangan Menengah)
- 2. Data saluran Tegangan Menengah (data teknis) yang dibutuhkan. Meliputi jumlah/jenis phasa, jenis konduktor, tipe penyulang, lokasi penyulang dan ukuran penampang penghantar.

Rugi–rugi di dalam jaringan Tegangan Menengah (JTM) disebabkan oleh arus beban yang mengalir di dalam konduktor yang mempunyai parameter rangkaian resistansi (R) dan reaktif (X) yang akan menimbulkan rugi–rugi aktif  $I^2R$  (watt) dan rugi–rugi reaktif  $I^2X$  (VAR). Sedangkan beban selalu berfluktuasi sepanjang hari (selama 24 jam) yang dapat digambarkan dalam sebuah kurva yang

disebut kurva beban harian, sehingga arus bebanpun juga akan ikut berfluktuasi mengikuti kurva beban harian, sehingga rugi-rugi energi aktif (losses kWh) dapat ditulis sebagai persamaan

$$\text{Rugi - rugi aktif (P)} = 3 \times I^2 \times R \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Rugi-rugi energi (W)} = 3 \times I^2 \times R \times t \dots\dots\dots(2.8)$$

dan rugi-rugi energi reaktif secara teknis tidak merupakan energi sehingga tidak perlu diperhatikan.

#### 2.4.3.5 Susut Tegangan (Tegangan Jatuh)

Susut tegangan atau biasa disebut jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang mempunyai impedansi. Untuk sistem arus searah, besarnya susut tegangan sama dengan arus dikalikan resistansi hantaran tersebut, sedangkan pada saluran arus bolak balik besarnya susut tegangan merupakan fungsi dari arus beban dan cosinus sudut impedansi dari beban.

Pada jaringan distribusi primer, susut tegangan dan rugi daya sebagian besar terjadi di saluran dan transformator. Oleh karena itu dalam perencanaan sistem harus dipilih saluran dan transformator yang bisa menghantarkan arus beban tanpa menyebabkan susut tegangan yang berlebihan dan dengan suhu yang aman.

(Analisa Losses Teknik pada System Kelistrikan, Usman Tahir)

Besarnya tegangan jatuh dapat dihitung melalui persamaan:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos \phi}{q \times \gamma} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:  $\Delta V$  = drop tegangan (V)

I = arus (A)

$L$  = panjang saluran (km)

$q$  = penampang saluran ( $\text{mm}^2$ )

$\gamma$  = konduktivitas penghantar (aluminium 32,7)

#### **2.4.3.6 Faktor Penyebab Susut Tegangan**

Faktor penyebab susut tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV sangat dipengaruhi oleh jenis material, peralatan maupun konstruksi jaringan tersebut. Untuk kerja yang diharapkan dari jaringan distribusi adalah bilamana jaringan tersebut mempunyai kontinuitas penyaluran tenaga listrik maupun tingkat keandalan yang tinggi, rugi daya dan susut tegangan yang minimal.

Untuk memenuhi kriteria tersebut, harus diperhatikan beberapa faktor penyebab susut tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi yang antara lain adalah tegangan sistem, frekuensi, faktor daya beban ( $\cos \theta$ ), faktor beban dan keandalan. (Analisa Losses Teknik pada System Kelistrikan, Usman Tahir)

#### **2.4.3.7 Standar Mutu Tegangan Pelayanan**

Standar mutu pelayanan merupakan suatu standar yang dibuat oleh perusahaan jasa ketenagalistrikan yang merupakan salah satu sasaran perusahaan sehingga dapat dipakai sebagai pedoman untuk menyusun strategi pencapaiannya. (Analisa Losses Teknik pada System Kelistrikan, Usman Tahir).

Tegangan nominal ( V )	Variasi tegangan pelayanan ( % )
230/400	)
400/690	) +5 % - 10%
1.000	)

Standart tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +5% dan minimum +10% terhadap tegangan nominal. (SPLN 1:1995)

#### 2.4.3.8 Standar Susut Tegangan

Selain level tegangan dan beda tegangan, dalam perusahaan tenaga listrik dikenal adanya Standar Susut Tegangan. Pada standar ini besarnya susut tegangan yang diijinkan, diperinci untuk beberapa peralatan sistem tenaga listrik. Dengan demikian perusahaan jasa ketenagalistrikan dapat mengambil langkah yang tepat dan apa yang harus dilaksanakan pada beberapa peralatan yang berbeda tersebut agar susut tegangan yang merupakan salah satu penyebab kehilangan kesempatan penjualan energi listrik dapat ditekan sekecil mungkin. (Analisa Losses Teknik pada System Kelistrikan, Usman Tahir)

#### 2.5 Usaha Memperbaiki Losses

Dalam sistem perusahaan tenaga listrik, berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi. Hal tersebut dilakukan karena selain merugikan perusahaan, juga merugikan pihak pelanggan sebagai pengguna jasa listrik yang selalu menuntut



jasa layanan dengan kualitas yang baik. Beberapa langkah upaya memperbaiki tegangan yang harus dilakukan untuk jatuh tegangan dan rugi daya adalah:

### **2.5.1 Membangun Pembangkit Pengatur Tegangan**

Dalam sistem tenaga listrik yang dilayani langsung oleh sumber pembangkit, maka penurunan tegangan secara mudah dapat diatasi dengan mengatur eksitasi generator.

Dalam praktek banyak terjadi bahwa pada suatu sistem yang mempunyai jaringan distribusi yang sangat panjang akan mengakibatkan tegangan pada ujung penerima mengalami penurunan yang cukup rendah dibawah standar. Hal ini dapat diatasi dengan jalan membangun suatu pembangkit baru pada daerah dimana tegangan sudah di bawah standart pelayanan.

Namun demikian perlu dipertimbangkan dari segi daya guna dan hasil guna, mengingat bahwa investasi suatu pembangkit sangat mahal. Pertimbangan teknis antara lain kurva pendapatan operasi dan kecuraman perbedaan tegangan siang dan malam. (Pengaruh Regulasi Tegangan Terhadap Perbaikan Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Purwodadi 10, Kasyanto)

### **2.5.2 Membangun Gardu Induk Baru dan Jaringan Baru**

Metode perbaikan tegangan dengan cara membangun Gardu Induk ataupun penyulang baru ini pada dasarnya sama dengan memindahkan beban ke sumber yang baru. Dengan penambahan jaringan baru maka kemampuan penyaluran arus akan lebih besar, sehingga susut tegangan dapat diperkecil. (Pengaruh Regulasi Tegangan Terhadap Perbaikan Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Purwodadi 10, Kasyanto).

### **2.5.3 Pemindahan Beban ke Penyulang Lain**

Memindahkan beban ke penyulang lain berarti mengurangi arus yang mengalir sehingga susut tegangan akan menjadi lebih kecil. Tujuan utama pemindahan beban ini tidak merupakan perbaikan tegangan namun lebih diutamakan untuk peningkatan keandalan pertimbangan pembebanan transformator Gardu Induk atau pertimbangan karena adanya pertumbuhan beban. (Pengaruh Regulasi Tegangan Terhadap Perbaikan Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Purwodadi 10, Kasyanto)

### **2.5.4 Penyeimbangan Beban**

Pengaruh beban yang tidak seimbang pada masing–masing fasa sangat besar karena untuk kondisi tersebut pada hantaran netral mengalir arus yang nilainya tidak terukur dan sangat merugikan dalam sistem perusahaan.

Pada fasa yang berbeban berat, nilai jatuh tegangan akan lebih besar dibandingkan dengan fasa yang berbeban ringan.

Untuk memperkecil nilai rugi tersebut selalu diupayakan langkah–langkah pengukuran beban secara real time, terutama pada saat beban puncak, untuk dasar pelaksanaan pemerataan beban.

Dengan keseimbangan beban maka dapat dihasilkan

- a. Arus pada setiap fasa akan mendekati harga yang sama
- b. Susut tegangan masing–masing fasa akan mendekati sama

### **2.5.5 Memperbesar Tegangan Kirim (*Tap Changer Trafo*)**

Untuk nilai impedansi saluran yang tetap, maka memperbesar tegangan kirim akan memberikan dampak kepada ujung tegangan penerima menjadi lebih besar sehingga regulasi tegangan menjadi lebih baik.

### 2.5.6 Memperbesar Penampang Penghantar

Ukuran penampang penghantar berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai jatuh tegangan maupun rugi daya yang terjadi. Oleh karena itu dalam perencanaan saluran distribusi harus diperhitungkan besar kecilnya penampang penghantar yang akan dipasang dan harus disesuaikan dengan pembebanan program jangka panjang.

Memperbesar penampang penghantar saluran berarti mengurangi besarnya nilai impedansi saluran tersebut. Sehingga untuk beban yang sama pada masing-masing fasa, nilai susut tegangannya akan menjadi semakin kecil. Hal diatas dinyatakan dalam perhitungan sebagai berikut:

$$V = I \times Z \text{ dimana } Z = R + jXL \dots\dots\dots(2.10)$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.5.7 Pengaturan Tegangan Penyulang Menggunakan Alat Pengatur Tegangan (Regulator Tegangan)

Peralatan pengatur tegangan dirancang untuk menjaga secara otomatis suatu nilai tegangan tertentu yang akan bervariasi terhadap perubahan beban. Pada saat beban bertambah, peralatan pengatur tegangan akan memperbesar tegangan keluaran pada Gardu Induk untuk mengkompensasi bertambahnya jatuh tegangan pada saluran distribusi.

Dalam hal ini, pengaturan tegangan sangat diperlukan bagi pelanggan yang letaknya jauh dari gardu transformator atau lokasi rangkaian utama dalah diluar batas pengaturan. Penambahan pengatur tegangan yang ditempatkan dalam lingkungan Gardu Induk dan dapat juga dipasang pada penyulang diluar

lingkungan Gardu Induk. (Pengaruh Regulasi Tegangan Terhadap Perbaikan Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Purwodadi 10, Kasyanto)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

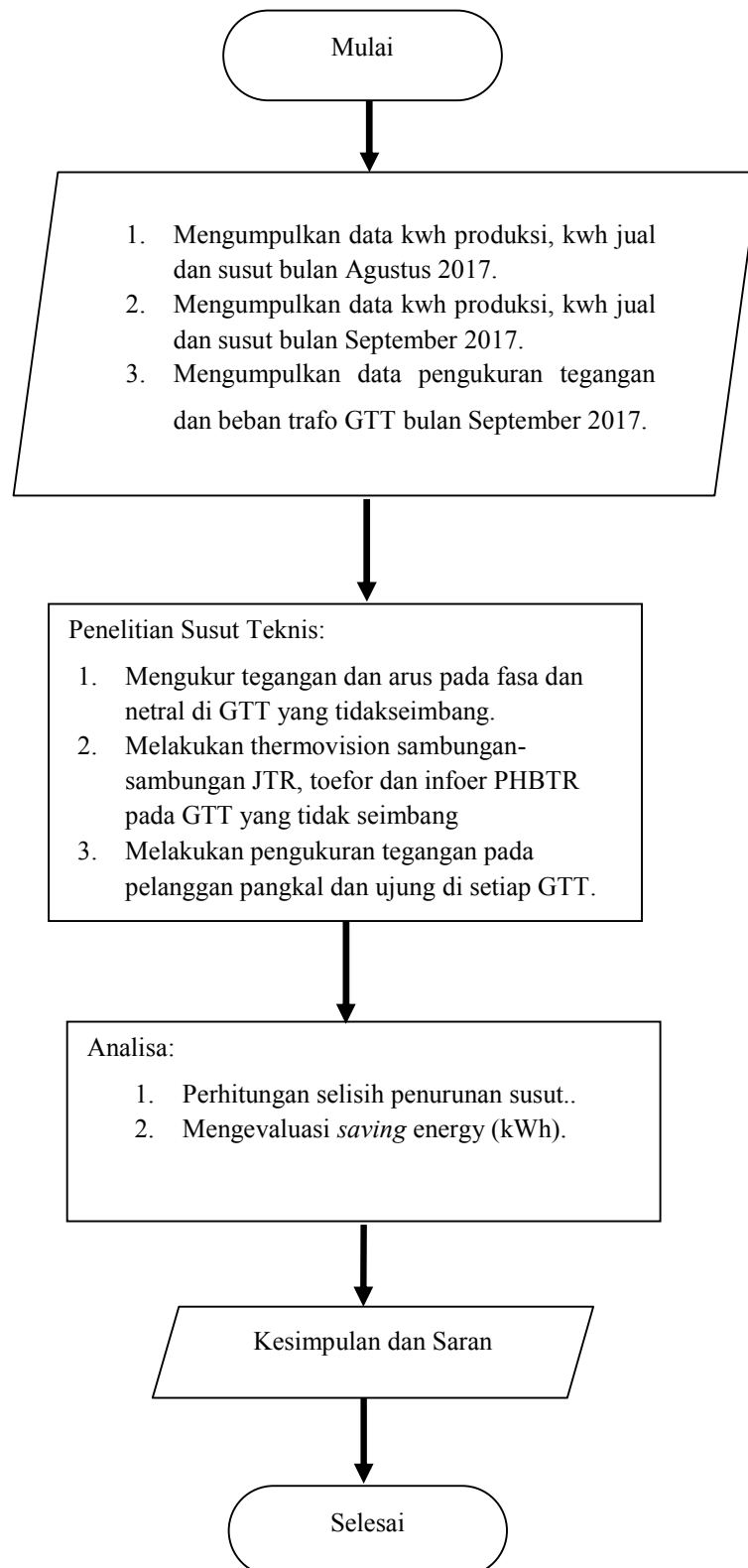
#### **3.1 Penurunan Susut di Jaringan 20 kV**

Metode atau langkah-langkah yang dilakukan untuk menurunkan susut dari segi teknis yaitu melakukan penyeimbangan beban trafo, penggantian tap konektor pada PHB-TR dan jaringan serta *tap changer* trafo. Dari perbaikan tersebut akan diketahui berapa besar penurunan susut dan *saving energy* (kWH) setelah dilakukan perbaikan.

#### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pengambilan data dalam penurunan susut ini dilakukan di PT PLN (Persero) Rayon Klakah Area Jember yang beralamatkan di Jalan Raya Klakah No.120, Kecamatan Klakah, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur 67356.

### 3.3 Langkah Pelaksanaan



### 3.4 Metode Pelaksanaan

Tabel 3.1 Neraca Rayon Klakah

	Realisasi Kumulatif Agustus 2017	Realisasi Kumulatif September 2017
kWh produksi (kWh)	7.068.144	10.860.654
kWh jual (kWh)	6.239.813	9.589.092
Susut total (kWh)	828.978	1.271.562
Susut (%)	11.73	11.71

Tabel 3.2 *Action Plan* dari sisi Teknis

No	<i>ACTION PLAN</i> (TEKNIK)
1	Menyeimbangkan Beban Trafo per Jurusan
2	Mengganti <i>Tap Connector</i> dan baut-baut pada PHBTR
3	Tap Changer Trafo

Dari data neraca kWh produksi jual beli dan susut diatas maka dilakukan beberapa *action plan* dengan metode sebagai berikut:

1. Penyeimbangan Beban Trafo per Jurusan
  - a. Mengumpulkan data pengukuran tegangan dan beban trafo. Pada awal kegiatan dilakukan pengumpulan data untuk mengetahui gardu mana yang mengalami ketidakseimbangan beban dan drop tegangan.
  - b. Pengukuran  
Melakukan pengukuran tegangan serta arus setiap fasa dan netral pada gardu yang mengalami ketidakseimbangan beban. Pengukuran dilakukan saat waktu beban puncak (WBP).
  - c. Analisa  
Dari hasil pengukuran, dapat dianalisa bahwa penyeimbangan beban

dapat dilakukan dengan memindahkan beban SR ke fasa yang lebih rendah pada JTR.

d. Menyeimbangkan Beban

Memindahkan beban SR ke fasa yang lebih rendah.

e. Evaluasi Hasil Pekerjaan

- Melakukan pengukuran tegangan dan arus setiap fasa setelah melakukan penyeimbangan beban
- Evaluasi selisih penurunan susut dan *saving* (kWh).

2. Penggantian Tap Konektor dan baut-baut pada PHBTR

a. Pengukuran Thermovision

Melakukan thermovision saat WBP pada sambungan-sambungan JTR, toefor dan infoer PHBTR.

b. Analisa

Dari hasil pengukuran, dapat dianalisa manakah titik-titik yang diprioritaskan untuk segera dilakukan penggantian maupun pemeliharaan.

c. *Reconnector*

Melakukan *reconnector* pada titik sambung percabangan JTR dengan *joint sleeve* serta perbaiki *contact per* dan *skun* di PHBTR

d. Evaluasi hasil pekerjaan

- Melakukan thermovision ulang pada titik yang telah dilakukan penggantian atau pemeliharaan untuk membandingkan nilai suhu sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan.
- Evaluasi selisih penurunan susut dan *saving* (kWh).



### 3. *Tap Changer Transformer*

#### a. Pengukuran

Melakukan pengukuran tegangan pelayanan pada pelanggan pangkal dan ujung di setiap GTT.

#### b. Analisa

Dari hasil pengukuran, dapat dianalisa apakah tegangan masih memenuhi standar pelayanan. Apabila tegangan tidak memenuhi standar perlu menaikkan *tap changer*. Penaikan *Tap Changer* harus memperhatikan tegangan pada pangkal jaringan..

#### c. Menaikkan Tegangan

Menaikkan tegangan pada sisi sekunder trafo dapat dilakukan perubahan posisi *tap changer* pada sisi primer hingga didapat output tegangan yang ideal.

#### d. Evaluasi Hasil Pekerjaan

- Melakukan pengukuran kembali tegangan pada pangkal dan ujung jaringan setelah dilakukan *tap changer* trafo.
- Evaluasi selisih penurunan susut dan *saving* (kWh).

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Penurunan susut dan *saving energy* listrik (kWh)**

Keandalan penyaluran tenaga listrik idealnya berupa energy listrik yang diproduksi sebanding dengan energy listrik yang terjual atau energy listrik yang dibutuhkan oleh peralatan listrik. Akan tetapi pada kenyataannya ada beberapa faktor yang menyebabkan berkurangnya penyaluran tenaga listrik maka dilakukan perbaikan susut dimana tindakan mengurangi jumlah penggunaan energi yang dapat disimpan (*saving energy*) dan penggunaan energy secara efisiensi. Oleh karena itu penghematan energy listrik memberikan keuntungan seperti penghematan biaya produksi listrik, dll.

#### **4.2 Penyeimbangan beban trafo**

Pada awal kegiatan dilakukan pengumpulan data dengan melakukan pengukuran di setiap line fasa beban pada gardu trafo PHBTR kemudian dilakukan perhitungan pembebanan daya (kVA) trafo dimana sesuai SPLN No.1 tahun 1995 tidak lebih dari 80%. Adapun sesuai standart bahwa syarat-syarat keandalan system tenaga listrik, antara lain:

1. Presentase pembebanan tidak lebih dari 80%;
2. Faktor ketidakseimbangan beban tidak lebih dari 20%;
3. Drop tegangan disisi pelanggan tidak lebih dari 10%.

Sehingga didapatkan data ketidakseimbangan trafo sebagai berikut:

Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Sebelum Penyeimbangan Beban

No.	No.GTT	TEGANGAN (KV)		DAYA (KVA)	BEBAN (ampere)				BEBAN (ampere)				BEBAN (ampere)				Beban Kva	Beban %	KETIDAK SEIMBANGAN
		V <sub>o</sub>	V <sub>s</sub>		LINE 1				LINE 2				UTAMA						
					R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N			
1	GF094	20	0,4	50	58,80	36,2	51,9	57,3	21	5,8	12,6	15,2	79,00	41,00	67,00	55,9	41,14	82,28%	✗ 22,82%
2	GF055	20	0,4	160	43,40	35,4	100,1	51	5,7	2,4	7,2	8,7	47,00	38,00	103,00	57,7	42,45	26,54%	✗ 45,25%
3	GF096	20	0,4	100	4,1	5,2	9,51	17	4,2	13	40,59	27	8,47	18,2	30,5	44	16,98	16,98%	✗ 64,21%
4	GF003	20	0,4	100	10,00	0,00	19,00	25,00	107,00	71,00	92,00	51,00	119,00	70,00	113,00	69,00	66,44	66,44%	! 20,31%
5	GF023	20	0,4	100	6,90	7,20	30,50	22,40	77,00	85,10	56,60	42,20	84,00	93,00	65,60	56,10	53,37	53,37%	! 12,59%

Tab 4.2. Data Hasil Pengukuran Sesudah Penyeimbangan Beban

No.	No.GTT	TEGANGAN (KV)		DAYA (KVA)	BEBAN				BEBAN				BEBAN				Beban Kva	Beban %	KETIDAK SEIMBANGAN
		V <sub>o</sub>	V <sub>s</sub>		LINE 1				LINE 2				UTAMA						
					R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N			
1	GF094	20	0,4	50	52,30	52,80	43,80	34,80	11,50	18,70	11,70	13,20	60,30	71,70	54,90	48,00	41,12	82,24%	✓ 10,06%
2	GF055	20	0,4	160	62	57	55	55	3	5	5	7	65	62	59	42	40,79	25,49%	✓ 2,91%
3	GF096	20	0,4	100	8,5	5,3	6,1	4,2	11,5	19,8	19,7	10,5	20,4	25,8	27	14,7	16,10	16,10%	✓ 10,93%
4	GF003	20	0,4	100	11,59	10,24	10,02	14,34	103,50	88,40	104,20	48,40	115,50	98,70	115,50	53,50	72,09	72,09%	✓ 5,43%
5	GF023	20	0,4	100	20	17,9	10,5	25,6	71,6	73	60	55	90,3	90,7	71	61	55,44	55,44%	✓ 10,32%

Perhitungan untuk GTT GF094, sebagai berikut:

- ✓ Perhitungan daya yang sedang ditanggung:

$$S_{beban} (KVA) = total\ fasabeban\ utama (kA) \times 0,22\ kV$$

$$S_{beban} = (60,30 + 71,70 + 54,90) \times 0,22$$

$$S_{beban} = 41,12\ KVA$$

- ✓ Perhitungan presentase pembebanan:

$$\%beban = \frac{S_{beban}}{S_{trafo}}$$

$$\%beban = \frac{41,12\ kVA}{50\ kVA}$$

$$\%beban = 82,24\%$$

- ✓ Faktor ketidakseimbangan beban:

$$\%ketidakseimbangan = \frac{average(fasaR + fasaS + fasaT)_{bebanutama}}{3}$$

$$\% = \frac{0,57 + 1,15 + 0,88\ kA}{3}$$

$$\% = 10,06\%$$

Contoh perhitungan diatas seperti halnya untuk GTT yang lain.

Tabel 4.3. Data panjang jaringan

No.	No.GTT	JARAK (km)		
		Line 1	Line 2	Utama
1	GF094	1.42	0.67	0.007
2	GF055	1.70	0.18	0.007
3	GF096	0.23	0.59	0.007
4	GF003	0.22	1.41	0.007
5	GF023	0.32	1.14	0.007

#### 4.2.1 Perhitungan susut (*losses*)

Berdasarkan data di atas maka dapat dihitung susut energi pada kelima GTT tersebut. Contoh perhitungan pada GF094 adalah sebagai berikut :

WBP yang dihitung lamanya adalah 6 jam dalam kurun waktu 30 hari.

Jarak Line A = 1,42 km

Jarak Line C = 0,67 km

Utama = 0.007 km

Resistansi penghantar TIC 50 mm<sup>2</sup> = 0,692 Ω/km

##### 1. Perhitungan *Losses* Sebelum Penyeimbangan

$$Losses = \frac{I^2 \times 0,692 \times \text{panjang km}}{1000}$$

$$Losses \text{ fasa R Line A} = \frac{53,80^2 \times 0,692 \times 1,42}{1000}$$

$$= 3604,607 \text{ kW}$$

##### 2. Perhitungan *Losses* Sesudah Penyeimbangan

$$Losses \text{ fasa R Line A} = \frac{5250^2 \times 0,692 \times 1,42}{1000}$$

$$= 2772,315 \text{ Kw}$$

Perhitungan *losses* untuk fasa S dan T sesuai dengan contoh diatas.

Tabel 4.4. Perhitungan susut

No.	No.GTT	SUSUT SEBELUM (KW)			SUSUT SESUDAH (KW)			SELISIH SUSUT (KW)			TOTAL SUSUT (KW)
		TOTAL			TOTAL			R	S	T	
		R	S	T	R	S	T				
1	GI094	3604,607	1310,397	2722,941	2772,315	2903,781	1950,325	832,292	-1593,384	772,616	11,524
2	GF055	1859,133	1235,363	9880,376	3760,014	3229,972	2974,578	-1900,881	-1994,610	6905,798	3010,307
3	GF096	24,680	104,622	857,237	130,023	208,627	215,775	105,343	104,005	641,462	432,114
4	GF003	5384,070	2327,291	4267,723	5058,606	3710,923	5111,446	325,465	-1383,632	-848,723	-1906,890
5	GF023	2784,095	3394,438	1539,522	2760,275	2775,445	1770,478	23,820	618,993	-230,956	411,857
<b>TOTAL SUSUT</b>											<b>1958,912</b>

#### 4.2.2 Saving kWh

Tabel 4.5. Data Perhitungan Saving kWh

No.	No.GTT	DAYA (KVA)	SELISIH LOSSES (kWh)				SAVING (kWh)
			R	S	T	N	
1	GF094	50	152,082	-289,823	140,356	384,687	387,30
2	GF055	160	-411,333	-429,844	1490,972	324,665	974,46
3	GF096	100	-9,917	-16,627	95,393	54,424	123,27
4	GF003	100	136,548	-494,584	-413,728	57,485	-714,28
5	GF023	100	99,175	261,615	-289,279	72,428	143,940
<b>Total</b>							<b>914,70</b>

Untuk perhitungan *Saving* kWh dengan penjumlahan selisih *Losses* fasa R,S,T,N sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Saving (kWh) GF094} &= \text{Selisih Losses R} + \text{S} + \text{T} + \text{N} \\
 &= 152,082 + (-289,823) + 140,356 + 384,67 \\
 &= 387,30 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan diatas berlaku untuk GF055, GF096, GF003, dan GF023.

##### 1. *Saving*

Total *saving* sebesar 914,70 kWh.

##### 2. *Benefit*

- Berkurangnya susut teknis pada sisi tegangan rendah.

- Dengan penyeimbangan beban, panas yang terdisipasi pada lilitan kumparan pada trafo tidak terakumulasi di satu kumparan, sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian daripada trafo.
- Kualitas arus dan tegangan dari sekunder trafo menjadi lebih baik.

### 4.3 Penggantian Tap Konektor dan Baut – baut pada PHBTR

Rusaknya peralatan pada PHB-TR mengakibatkan *loss contact* pada sambungan dengan peralatan lain. Ketika temperatur suatu logam yang dialiri arus listrik meningkat maka ikatan atom semakin meningkat dan mengabaikan aliran elektron (arus listrik tersebut) terhambat sehingga kenaikan temperatur menyebabkan kenaikan tahanan penghantar. Dari pelaksanaan pengukuran tap konektor dan baut-baut pada PHBTR didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.6. Data Penggantian *Tap Connector* dan Baut – Baut pada PHBTR

Lokasi	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
PHBTR GF003	83.9	31.1	-52.8
Line Tap GF043 R	50.5	41.7	-8.8
Line Tap GF043 S	50.5	41.7	-8.8
Line Tap GF043 T	50.5	41.7	-8.8
PHBTR GF029	56.4	46.2	-10.2
PHBTR GF019	150	83	-67

Keterangan :

T1 : Suhu awal hasil dari Thermovision sebelum dilakukan penggantian

T2 : Suhu akhir hasil dari Thermovision setelah dilakukan penggantian

ΔT : Selisih suhu T1 dengan T2

#### 4.3.1 Perhitungan Susut (*losses*)

Contoh perhitungan pada Line Tap GF043 adalah sebagai berikut :

$$R_0 = 0.438 \Omega/\text{km} \times l$$

$$= 0.438 \Omega/\text{km} \times 0.0002 \text{ km} = 0.0000876 \Omega$$

$$\alpha = 0.0042 \text{ (bahan timah hitam)}$$

$$I = 42 \text{ A}$$

$$\Delta T = -8.8$$

$$R_t = R_0(1 + \alpha \Delta t)$$

$$R_t = 0.0000876(1 + 0.0042(-8.8))$$

$$R_t = 0.0000844 \Omega$$

$$\text{Losses} = I^2 \times R$$

$$\text{Losses sebelum} = 42^2 \times 0.0000876$$

$$= 0.155 \text{ W}$$

$$\text{Losses sesudah} = 42^2 \times 0.0000844$$

$$= 0.149 \text{ W}$$

$$\text{Selisih losses} = 0.155 \text{ W} - 0.149 \text{ W}$$

$$= 0.006 \text{ W}$$

Jadi, hasil penggantian *connector* di Line Tap GF043 dengan suhu awal 50.5 °C menjadi 41.7 °C didapatkan penurunan losses sebesar 0.006 W.

Perhitungan diatas berlaku untuk penggantian tap konektor dan baut-baut pada PHBTR yang lain.

#### 4.3.2 Saving (kWh)

$$\text{Saving} = \frac{(\text{Losses sebelum} - \text{Losses sesudah}) \times 720}{1000}$$

$$= \frac{(0.155 - 0.149) \times 720 \text{ jam}}{1000}$$

$$= 0.0041 \text{ kWh}$$

Perhitungan diatas berlaku untuk penggantian tap konektor dan baut-baut pada PHBTR yang lain.

Tabel 4.7. Perhitungan penurunan *losses* dan *saving* kWh

Lokasi	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)	L (km)	R <sub>o</sub> (Ω)	R <sub>t</sub> (Ω)	I (A)	Loss Sblm (W)	Loss Ssdah (W)	Selsh Loss (W)	Saving (kWh)
PHBTR GF003	83,9	31,1	-52,8	0,0002	0,0000876	0,00006817	11,59	0,012	0,009	0,003	0,0019
Line Tap GF043 R	50,5	41,7	-8,8	0,0002	0,0000876	0,00008436	42	0,155	0,149	0,006	0,0041
Line Tap GF043 S	50,5	41,7	-8,8	0,0002	0,0000876	0,00008436	42	0,155	0,149	0,006	0,0041
Line Tap GF043 T	50,5	41,7	-8,8	0,0002	0,0000876	0,00008436	42	0,155	0,149	0,006	0,0041
PHBTR GF029	56,4	46,2	-10,2	0,0002	0,0000876	0,00008385	65	0,370	0,354	0,016	0,0114
PHBTR GF019	150	83	-67	0,0002	0,0000876	0,00006295	140	1,717	1,234	0,483	0,3479
TOTAL										0,519	0,3735

#### 1. Saving (kWh)

Hasil perhitungan didapatkan total *saving* sebesar 0.3735 kWh dengan penurunan losses sebesar 0,519 W.

#### 2. Benefit

Mengurangi *losses* yang terjadi akibat *loss contact* pada sambungan *toefoer* dan baut-baut pada PHBTR.

### 4.4 Tap Changer Transformator

Ketidakandalan penyaluran tegangan listrik salah satunya diakibatkan oleh tegangan jatuh (*drop voltage*). Hal ini disebabkan oleh saluran yang cukup panjang sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan pemasangan “*Off Load Tap Changer*” pada trafo distribusi disisi konsumen untuk merubah perbandingan transformasi (rasio) trafo. Sesuai SPLN No.01 tahun 1995 dijelaskan variasi tegangan pelayanan yang disalurkan ke pelanggan seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4.8. Tegangan pelayanan

Tegangan nominal (V)	Variasi tegangan pelayanan (%)
230/400	)
400/690	) +5 % - 10%
1.000	)



#### 4.4.1 Hasil pelaksanaan *Tap Changer* Trafo

Penaikan *tap changer* dilakukan pada tiga trafo yaitu GF029, GF135, dan GF094. Berikut ini data pengukuran sebelum dan sesudah dilakukan *tap changer* dan dilakukan pada saat WBP (Waktu Beban Puncak).

Tabel 4.9. Data Hasil Pengukuran Sebelum *Tap Changer*

No.	No.GTT	Daya	Tegangan Pangkal			Tegangan Ujung Line 1			Tegangan Ujung Line 2		
			R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
1	GF029	160	211	216	212	198	203	199	161	166	162
2	GF094	50	213	209	208	188	184	183	203	199	198
3	GF135	100	208	214	213	161	167	166	191	197	196

Tabel 4.10. Data Hasil Pengukuran Setelah *Tap Changer*

No.	No.GTT	Daya	Tegangan Pangkal			Tegangan Ujung Line 1			Tegangan Ujung Line 2		
			R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
1	GF029	160	215	220	217	198	203	200	165	170	167
2	GF094	50	222	221	219	188	187	185	209	208	206
3	GF135	100	221	227	222	185	191	186	214	220	215

#### 4.4.2 Perhitungan susut (*losses*)

Perhitungan susut untuk GF029 sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho x l}{A}$$

Keterangan:

R = tahanan ( $\Omega$ )

$\rho$  = tahanan jenis  $1,68 \times 10^{-8}$  (bahan tembaga) ( $\Omega m$ )

l = panjang konduktor (m)

A = luas penampang ( $m^2$ )

$$R = \frac{(1,68 \times 10^{-8}) \times 5,62}{0,70}$$

$$R = 1,348 \times 10^{-07} \Omega$$

✓ Susut sebelum tap changer

$$P = I^2 \times R$$

$$P = 578,3^2 \times 1,348 \times 10^{-07}$$

$$= 0,0451 \text{ W}$$

✓ Susut sesudah tap changer

$$P = I^2 \times R$$

$$P = 522^2 \times 1,348 \times 10^{-07}$$

$$= 0,0368 \text{ W}$$

✓ Selisih susut = 0,0451 W – 0,0368 W = 0,0086 W

Tabel 4.11. Perhitungan susut sebelum dilakukan *tap changer*

No.	No.GTT	DAYA	BEBAN (A)				BEBAN (A)TOTAL	A (m2)	ρ (Ωm)	L (m)	R (Ω)	SUSUT (W)
			R	S	T	N						
1	GF029	160	171	148	166	93,3	578,3	0,7	1,68E-08	5,62	1,3488E-07	0,0451
2	GF094	50	79,00	41,00	67,00	56,9	243,9	0,7	1,68E-08	0,81	1,944E-08	0,0012
3	GF135	100	97,00	94,00	84,00	54,00	329	0,7	1,68E-08	3,39	8,136E-08	0,0088
TOTAL												0,0551

Tabel 4.12. Perhitungan susut sesudah dilakukan *tap changer*

No.	No.GTT	DAYA	BEBAN (A)				BEBAN (A)TOTAL	A (m2)	ρ (Ωm)	L (m)	R (Ω)	SUSUT (W)
			R	S	T	N						
1	GF029	160	156	123	151	92	522	0,7	1,68E-08	5,62	1,3488E-07	0,0368
2	GF094	50	60,30	71,70	54,90	48,00	235	0,7	1,68E-08	0,81	1,944E-08	0,0011
3	GF135	100	94,00	94,00	84,00	54,00	326	0,7	1,68E-08	3,39	8,136E-08	0,0086
TOTAL												0,0465

Dari perhitungan susut dari tiga (3) GTT yakni GF029, GF094 dan GF135 maka didapatkan selisih susut sebelum dan sesudah tap changer sebesar:

$$\text{Selisih susut} = 0,551 \text{ W} - 0,0465 \text{ W}$$

$$= 0,5045 \text{ W}$$

#### 4.4.3 Saving (kWh)

Berdasarkan data di atas maka dapat dihitung *saving* kWh pada GTT tersebut. Perhitungan *saving* pada GF029 adalah sebagai berikut :

Jam nyala sebuah trafo adalah 24 jam x 30 hari = 720 jam.

Resistansi penghantar TIC 70 mm<sup>2</sup> adalah 0,504 Ω/km.

Panjang jaringan = 5.62 km

$$\text{Saving kWh} = \frac{720 \times \Delta V^2}{0,504 \times \text{panjang km} \times 1000}$$

$$\begin{aligned} \text{Saving kWh R-N} &= \frac{720 \times 4^2}{0,504 \times 5,62 \times 1000} \\ &= 4,07 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Saving kWh S-N} = 4,07 \text{ kWh}$$

$$\text{Saving kWh T-N} = 6,35 \text{ kWh}$$

$$\text{Total Saving kWh} = 14,49 \text{ kWh}$$

Tabel 4.13. Data Hasil Perolehan *Saving* kWh

No	GTT	Selisih Tegangan Pangkal (V)			L km	Saving (kWh)			Total Saving (kWh)
		R-N	S-N	T-N		R-N	S-N	T-N	
1	GF029	4	4	5	5.62	4.07	4.07	6.35	14.49
2	GF094	9	12	11	0.81	142.86	253.97	213.40	610.23
3	GF135	13	13	9	3.39	71.22	71.22	34.13	176.57
						TOTAL			801.29

1. *Saving* :

Total *saving* untuk GF029, GF094 dan GF135 sebesar 801.29 kWh .

2. *Benefit*

- ✓ Berkurangnya susut teknis pada sisi tegangan rendah.
- ✓ Kualitas tegangan pelayanan di pangkal dan ujung menjadi lebih baik.

#### 4.5 Total Perolehan Susut dan *Saving* (kWh)

Berdasarkan 3 (tiga) pelaksanaan penurunan susut yang telah dilaksanakan, maka didapatkan susut dan *saving* (kWh) sebagai berikut:

Tabel 4.14. Total Perolehan Susut dan *Saving* kWh

<b>NO</b>	<b>KEGIATAN</b>	<b>SUSUT (W)</b>	<b>SAVING (kWh)</b>
1	Penyeimbangan beban	1,9589	914,70
2	Penggantian Tap connector dan toefor PHBTR	0,519	0,3735
3	Tap changer trafo	0,5045	801,29
	<b>TOTAL</b>	<b>2,9824</b>	<b>1716,36</b>

Perolehan *saving* (kWh) tertinggi adalah pelaksanaan penyeimbangan beban dengan total *saving* sebesar 914,70 kWh dan penurunan susut sebesar 1,9589 W.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

- 1 Kegiatan penurunan susut yakni penyeimbangan beban, penggantian *tap connector* dan *toefor* PHBTR dan *tap changer* trafo didapatkan total penurunan susut sebesar 2,9824 W dan *saving* 1716,36 kWh.
- 2 Penyeimbangan beban memberikan dampak yang besar untuk menurunkan susut dan meningkatkan *saving* (kWh) di PLN Rayon Klakah dimana penurunan susut sebesar 1,9589 W dengan *saving* sebesar 914,70 kWh.

#### **5.2 Saran**

1. Pemeliharaan trafo dilakukan secara rutin agar keseimbangan beban dan tegangan dapat dijaga sehingga mengurangi susut akibat besarnya arus netral dan drop tegangan pada pelanggan.
2. Pengadaan trafo sisipan pada JTR yang terlalu panjang dengan kerapatan beban tinggi sebaiknya dilakukan untuk mengatasi masalah drop tegangan.
3. Apabila trafo mengalami ketidakseimbangan beban sebaiknya segera dilakukan pemerataan beban pada SR.

## DAFTAR PUSTAKA

SPLN-1, 1995, *Tegangan Tegangan Standart*. Jakarta.

SPLN-59, 1985, *Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*, Jakarta.

Pulungan, Ali Basrah, Sukardi dan Dahlan Prinando Tambun. 2012. *Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Di Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang PT. PLN (Persero) Cabang Padang*. Jurnal Nasional Teknik Elektro No.1 Vol:1 September 2012, ISSN: 2302-2949.

Setiadji, Julius Sentosa, Tabrani Machmudsyah dan Yanuar Isnanto. 2006. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distibusi*. Jurnal Teknik Elektro Vol.6, No.1, Maret 2006: 68-73.

Abadi Akbar dan Syafii. 2015. *Analisa Perbaikan Profil Tegangan System Tenaga Listrik Sumba Menggunakan Kapasitor Bank dan Tap Transformator*. Jurnal Nasional Teknik Elektro Vol:4, No.2 September 2015, ISSN: 2302-2949.