

**PERHITUNGAN SUSUT ENERGI PADA PENYULANG TOBA BERDASARKAN
ANALISA FORMULA JOGJA DAN EVALUASI PADA BEBAN JARINGAN
TEGANGAN MENENGAH DI PT PLN (PERSERO) ULPANAMBAS**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana S1 Pada Prodi
Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung



DISUSUN OLEH :

ROBET ARI WIBOWO

NIM 30602200246

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

**CALCULATION OF ENERGY LOSS IN THE TOBA FEEDER BASED ON
FORMULA JOGJA ANALYSIS AND LOAD EVALUATION OF THE MEDIUM
VOLTAGE NETWORK AT PT PLN (PERSERO) ULP ANAMBAS
FINAL PROJECT**

*Submitted as One of the Requirements to Obtain a Bachelor's Degree in the Electrical
Engineering Study Program, Sultan Agung Islamic University*



**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
ISLAMIC UNIVERSITY OF SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**PERHITUNGAN SUSUT ENERGI PADA PENYULANG TOBA BERDASARKAN ANALISA FORMULA JOGJA DAN EVALUASI PADA BEBAN JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DI PT PLN (PERSERO) ULP ANAMBAS**” Disusun oleh :

Nama : Robet Ari Wibowo

NIM 30602200246


Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Minggu

Tanggal : 04 September 2025

Pembimbing


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM

NIDN. 0628086501

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


 091025
Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**PERHITUNGAN SUSUT ENERGI PADA PENYULANG TOBA BERDASARKAN ANALISA FORMULA JOGJA DAN EVALUASI PADA BEBAN JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DI PT PLN (PERSERO) ULP ANAMBAS**” Disusun oleh :

Hari : Kamis

Tanggal : 4 September 2025

TIM PENGUJI

Penguji I

Munaf Ismail, S. T., M. T.
NIDN. 0613127302

Penguji II

Dr. Ir. Agus Adhi Nugrolo, MT., IPM
NIDN. 0628086501

Ketua Penguji



Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN. 0618066301

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Robet Ari Wibowo
NIM : 30602200246
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan Ini Menyatakan Bahwa Tugas Akhir Yang Saya Ajukan Dengan Judul **“Perhitungan Susut Energi Pada Penyulang Toba Berdasarkan Analisa Formula Jogja Dan Evaluasi Pada Beban Jaringan Tegangan Menengah Di PT Pln (Persero) ULP Anambas”**, adalah hasil karya saya, yang belum pernah diajukan untuk meraih gelar akademik di perguruan tinggi mana pun, maupun ditulis atau diterbitkan oleh pihak lain, kecuali bagian-bagian yang secara eksplisit dirujuk dalam naskah ini dan tercantum dalam daftar pustaka. Tugas akhir ini hasil karya saya dan segala bentuk kesalahan atau kekeliruan yang terdapat di dalamnya menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya. Saya membuat pernyataan ini dengan kesadaran penuh dan bertanggung jawab.

Semarang, 10 Agustus 2025

Yang Menyatakan,



Robet Ari Wibowo

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Robet Ari Wibowo
NIM : 30602200246
Program Studi : S1 Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul **“PERHITUNGAN SUSUT ENERGI PADA PENYULANG TOBA BERDASARKAN ANALISA FORMULA JOGJA DAN EVALUASI PADA BEBAN JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DI PT PLN (PERSERO) ULP ANAMBAS”** menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 28 Agustus 2025

Yang menyatakan,



Robet Ari Wibowo
NIM 30602200246

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penelitian ini saya persembahkan kepada :

Diri sendiri atas penyelesaian penyusunan Tugas Akhir dengan kondisi sambil bekerja di unit terluar dan jauh dari lokasi kampus.

Kedua Orang Tua Saya,

Atas berbagai bentuk dukungan dan semangat sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

Untuk Calon Istri

Terimakasih sudah selalu support di setiap waktu dan dimanapun.

D-III Teknik Elektro 2018 Universitas Diponegoro

Kepada rekan-rekan seperjuangan dimasa kuliah baik rekan kuliah dan khususnya teman-teman kos Pak Wandu.

Keluarga PT PLN (Persero) ULP Anambas

Terima kasih terhadap rekan kerja dari Manajer, Team Leader, dan teman-teman staff dalam membantu saya selama proses pengumpulan data sampai Tugas Akhir selesai.

S-1 Teknik Elektro 2022 Unisulla

Kepada rekan satu angkatan di Unisulla yang mungkin tidak kenal satu persatu, terima kasih atas kebersamaanya semoga tetap jaga ukhwuwah islamiyah.

Bapak Agus

Terima kasih atas bimbingan, kesabaran serta arahan yang diberikan selama perkuliahan berlangsung sampai dengan penyusunan laporan Tugas Akhir.

HALAMAN MOTTO

طَلَبُ الْعِلْمِ فَرِيضَةٌ عَلَى كُلِّ مُسْلِمٍ

Artinya:

“Menuntut ilmu itu wajib atas setiap Muslim” (HR. Ibnu Majah no. 224, dari sahabat Anas bin Malik radhiyallahu 'anhu, dishahihkan Al Albani dalam Shahiih al-Jaami'ish Shaghiir no. 3913).



KATA PENGHANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kemudahan dan kekuatan dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **“Perhitungan Susut Energi Pada Penyulang Toba Berdasarkan Analisa Formula Jogja Dan Evaluasi Pada Beban Jaringan Tegangan Menengah Di Pt Pln (Persero) ULP Anambas”**.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Selama proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak lepas dari dukungan dan kontribusi berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, bantuan, serta dukungan hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik..

1. Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.H. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan agung Semarang.
4. Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.,IPM. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan dan bantuannya hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Kedua orangtua dan keluarga yang selalu mendoakan dan mendukung kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir.
7. Kepada teman-teman Teknik Elektro angkatan 2022 atas dukungannya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat berbagai kekurangan, baik dari sisi materi maupun penyajian, penyusunan, dan tampilan Tugas Akhir. Saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan penulis. Penulis berharap semoga penyusunan Tugas Akhir dapat memberikan manfaat dan referensi. Semoga Allah SWT selalu memberikan rahmat dan ridha-Nya kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.



DAFTAR ISI

FINAL PROJECT	i
CALCULATION OF ENERGY LOSS IN TOBA FEEDERS BASED ON ANALYSIS AND EVALUATION OF THE LOAD OF THE MEDIUM VOLTAGE NETWORK AT PT PLN (PERSERO) ULP ANAMBAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGHANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika laporan ini sebagai berikut:	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6

2.2 Landasan Teori	9
BAB III	29
METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Metode Penelitian.....	29
BAB IV	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Perhitungan Susut Teknis JTM Penyulang Toba.....	34
4.2 Perhitungan Rugi Daya Berdasarkan Data Dari SPLN	36
4.3 Perhitungan Biaya Energi Listrik Yang Tidak Terjual Dalam Satuan Rupiah ..	43
4.4 Perhitungan kWh Produksi Penyulang Toba	46
4.5 Perhitungan kWh Jual Pelanggan pada Penyulang Toba	46
4.6 Perhitungan tagihan susulan (Kelainan pada kWh Meter) pada pelanggan di Penyulang Toba.	47
4.7 Perhitungan Susut Energi pada Penyulang Toba ketika luas penampang diubah ke 240 mm ²	48
4.8 Perhitungan Rugi Energi Listrik per hari Pada Penyulang Toba	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	57
Daftar Pustaka	58

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Susut Energi Listrik.....	9
Gambar 2.2 Single Line Diagram.....	15
Gambar 2.3 Prinsip Kerja kWh Meter Pascabayar.....	21
Gambar 2.4 Diagram Blok Rangkaian Sistem kWh Meter Pascabayar	22
Gambar 2.5 Diagram Blok kWh Meter Elektronik	23
Gambar 2.7 Tang Ampere.....	26
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	29
Gambar 4.1 Single Line Diagram Penyulang Toba.....	35



Daftar Tabel

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Rugi Daya Aktif (KW) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 berdasarkan data dari SPLN.....	37
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Rugi Daya Reaktif (KVAR) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 berdasarkan data dari SPLN.....	39
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Rugi Daya Aktif (KW) dan Rugi Energi Listrik Per Hari (kWh) di Penyulang Toba pada bulan Februari tahun 2025	41
Tabel 4.4 Tarif Tenaga Listrik (TTL).....	43
Tabel 4.5 Hasil perhitungan energi listrik yang tidak terjual dalam satuan rupiah dengan rata-rata tarif tenaga listrik Rp 1.328,90 / kWh, di Penyulang Toba pada bulan Februari 2025	44
Tabel 4.6 Total kWh Produksi pada Penyulang Toba.....	46
Tabel 4.7 Total kWh jual pada Penyulang Toba	47
Tabel 4.8 Realisasi tagihan susulan pada Penyulang Toba.....	48
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Rugi Daya Aktif (KW) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 menggunakan kabel penghantar 240 mm ² berdasarkan data dari SPLN	44
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Rugi Daya Reaktif (KVAR) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 menggunakan kabel penghantar 240 mm ² berdasarkan data dari SPLN	4
6	
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Rugi Daya Aktif (KW) dan Rugi Energi Listrik Per Hari (kWh) di Penyulang Toba pada bulan Februari tahun 2025 menggunakan kabel penghantar 240 mm ²	48

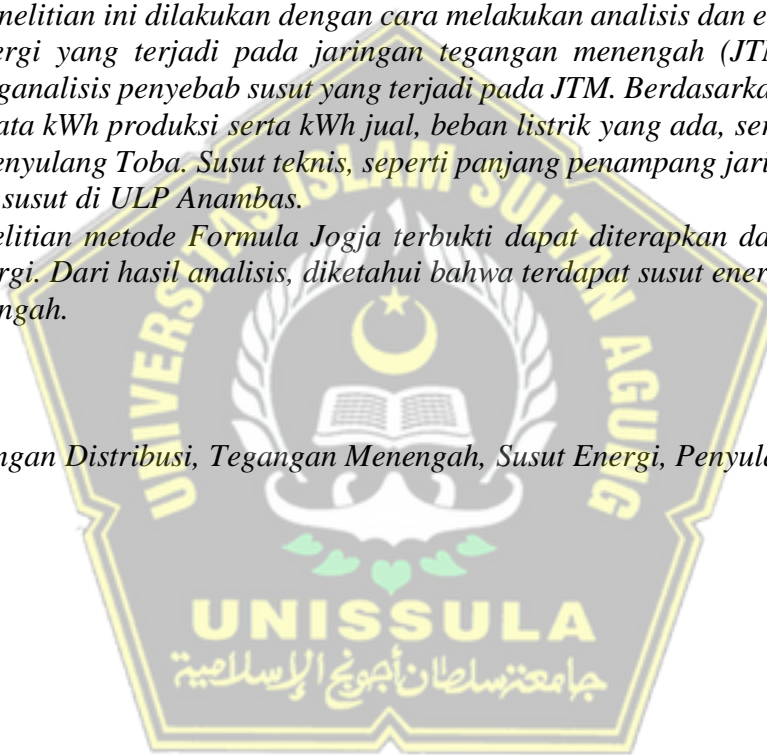
ABSTRAK

Jaringan distribusi komponen penting dalam sistem kelistrikan yang bertugas menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke konsumen akhir. Apabila jaringan ini tidak beroperasi secara optimal, maka dapat menimbulkan masalah dalam pelayanan, seperti terjadinya rugi- rugi daya dan penurunan tegangan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya rugi daya dan penurunan tegangan yang muncul pada jaringan distribusi tegangan menengah (JTM). Studi ini difokuskan pada jaringan 20 kV di penyulang Toba, yang berada di bawah wilayah kerja ULP Anambas.

Metode penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan analisis dan evaluasi terhadap kehilangan energi yang terjadi pada jaringan tegangan menengah (JTM)., yang dapat membantu menganalisis penyebab susut yang terjadi pada JTM. Berdasarkan dari data asset jaringan dan data kWh produksi serta kWh jual, beban listrik yang ada, serta kapasitas dan karakteristik Penyulang Toba. Susut teknis, seperti panjang penampang jaringan yang dapat mempengaruhi susut di ULP Anambas.

Hasil penelitian metode Formula Jogja terbukti dapat diterapkan dalam menghitung kehilangan energi. Dari hasil analisis, diketahui bahwa terdapat susut energi pada jaringan tegangan menengah.

Kata Kunci : Jaringan Distribusi, Tegangan Menengah, Susut Energi, Penyulang Toba



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perluasan sistem jaringan distribusi listrik, efisiensi menjadi salah satu aspek utama yang harus dicapai tanpa mengabaikan faktor ekonomi. Efisiensi yang tinggi dapat terwujud jika kehilangan energi (susut daya) dapat diminimalkan. Susut daya dalam jaringan distribusi menjadi pertimbangan penting baik dalam tahap perencanaan maupun pengoperasian karena berpengaruh terhadap biaya investasi. Pada penelitian ini, perhitungan susut daya dibatasi pada rugi-rugi akibat resistansi dari satu saluran udara dan satu saluran kabel tegangan menengah yang dijadikan sebagai sampel, sementara rugi-rugi akibat induktansi dan kapasitansi tidak diperhitungkan. Selain itu, dilakukan pula analisis terhadap kehilangan daya pada transformator distribusi yang mencakup rugi-rugi inti dan tembaga, sedangkan rugi akibat isolasi kabel atau isolator juga tidak dimasukkan dalam perhitungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kehilangan daya aktif per gardu berkisar antara 582,92 Watt hingga 1.001,78 Watt, dengan nilai terendah terjadi pada gardu KTAKP1007 sebesar 0,42% dan tertinggi pada gardu KTAKP1008 sebesar 1,15%. Total susut daya pada penyulang tercatat sebesar 16.031,66 Watt atau 18,10%, yang masih berada dalam batas standar SPLN, yaitu maksimal 20%. (Latupeirissa, Muskita and Tahalele, 2020).

Pemanfaatan listrik menjadi kebutuhan esensial dalam kehidupan sehari-hari, mencakup berbagai sektor seperti rumah tangga, penerangan jalan, komunikasi, industri, dan lainnya. Konsumsi listrik di tingkat nasional terus mengalami peningkatan sejalan dengan meluasnya akses listrik dan perubahan pola hidup masyarakat. (Samhati, Hidayat and Makhroja, 2023).

Energi listrik kini telah menjadi kebutuhan pokok. Listrik memegang peranan krusial dalam mendukung aktivitas ekonomi masyarakat, sehingga ketersediaan listrik yang memadai akan memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi masyarakat tersebut (Damara and Yasa, 2019).

Masalah susut energi pada jaringan distribusi menjadi fokus penting dalam tahap perencanaan maupun operasional karena berdampak pada besarnya biaya investasi. Losses, atau yang sering disebut susut, merupakan indikator utama yang harus selalu diperhatikan oleh PT. PLN (Persero), karena parameter ini mencerminkan tingkat efisiensi suatu system (Agustina, 2016).

Solusi permasalahan ini adalah bagaimana upaya untuk memperbaiki dan kontrol susut energi dengan pengaturan beban, pemecahan beban agar seimbang, Sebagai langkah dan upaya dalam meminimalisasi susut dibentuk sebuah bagian Transaksi Energi (TE) yang berfungsi untuk mengurangi dan mencari solusi agar susut distribusi dapat terwujud. Susut (losses) disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor teknis yang berkaitan dengan permasalahan pada jaringan (Suliyanti *et al.*, 2022)

Salah satu cara untuk mengurangi tingkat susut pada jaringan distribusi adalah dengan melakukan penyeimbangan beban, menggunakan konduktor yang lebih besar, serta melakukan pengawasan terhadap Alat Pengukur dan Pembatas (APP) di sisi pelanggan. PT. PLN (Persero) juga melakukan pemeliharaan rutin pada APP milik pelanggan sebagai upaya untuk menekan angka susut bulanan. Program meteran tua harus dijalankan dengan penggantian paling cepat 10 tahun dan paling lama 25 tahun untuk APP fasa Tunggal (Kepdir No. 11 Tahun 2011) Serta dilakukan evaluasi terhadap penggunaan pelanggan serta pemantauan laporan meter yang rusak atau macet, termasuk perhitungan tingkat akurasi atau kesalahan pada APP. Seiring bertambahnya usia kWh meter dan pengaruh faktor lingkungan, akurasi pencatatan pemakaian energi dapat menurun sehingga diperlukan pemeliharaan rutin. Upaya ini bertujuan untuk meminimalkan jumlah energi yang terdistribusi namun tidak tercatat sebagai penjualan. (Muhamad Idris Ardiansyah, Zuraidah Tharo, 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis terdorong untuk menyusun Tugas Akhir dengan judul : PERHITUNGAN SUSUT ENERGI PADA PENYULANG

TOBA BERDASARKAN ANALISA FORMULA JOGJA DAN EVALUASI PADA BEBAN JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DI PT PLN (PERSERO) ULP ANAMBAS. Diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini nantinya dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi para mahasiswa.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini meliputi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Berapa susut energi pada pelanggan akibat panjang rugi-rugi penghantar dan bagaimana solusi untuk mengatasi masalah susut Penyulang Toba ?
2. Berapa rupiah kerugian daya akibat susut energi pada kawat penghantar serta bagaimana untuk menekan kerugian daya Penyulang Toba?
3. Seberapa besar perbandingan susut energi terukur dengan susut energi secara perhitungan di ULP Anambas?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini, telah ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut: Data yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan Sistem Jaringan Tegangan Menengah ULP Anambas.

- 2 Data asset panjang penampang Jaringan Tegangan Menengah Penyulang Toba.
- 3 Laporan beban sistem Penyulang Toba setiap 2 jam sekali dalam kurun waktu 1 bulan.
- 4 kWh Meter / Power Logic yang digunakan sebagai acuan monitoring beban Penyulang Toba.
- 5 Data Penyulang Toba digunakan sebagai perbandingan serta analisa pada Penyulang di ULP Anambas .

1.4 Tujuan

Tujuan dari penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Mengetahui penyebab dari susut energi pada pelanggan akibat panjang rugi-rugi penghantar Penyulang Toba .

- (2) Mengetahui perhitungan rupiah kerugian daya akibat susut energi pada kawat penghantar Penyulang Toba.
- (3) Mengetahui besar perbandingan susut energi terukur dengan susut energi secara perhitungan di ULP Anambas.
- (4) Mengetahui langkah yang diambil untuk mengurangi susut pada jaringan dengan mengganti luas penampang kawat penghantar yang dari awal 150 mm² menjadi 240 mm², sehingga nilai susut energi pada jaringan akan berkurang.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini mencakup beberapa manfaat berikut:

1. Memberikan pemahaman penyebab susut energi pada pelanggan akibat panjang rugi-rugi penghantar Penyulang Toba.
2. Mengetahui besar kerugian daya akibat susut energi pada kawat penghantar Penyulang Toba.
3. Memberikan pemahaman dan pengetahuan mengenai besar perbandingan susut energi terukur dengan susut energi secara perhitungan di ULP Anambas

1.6 Sistematika laporan ini adalah berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memuat penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, rumusan pertanyaan penelitian, batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai, serta manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini. penelitian, metode yang digunakan, serta struktur penulisan penelitian yang akan dilaksanakan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Terkait perhitungan susut energi pada penyulang toba berdasarkan analisa dan evaluasi pada beban jaringan tegangan menengah di pt pln (persero) ulp anambas

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metodologi penelitian, yang mencakup penggunaan berbagai alat, bahan dan sarana pendukung. Selain itu, dijelaskan langkah-langkah prosedur penelitian, yang dilakukan untuk mencapai hasil tujuan penelitian.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Melakukan perhitungan terkait susut energi pada jaringan tegangan menengah berdasarkan analisa dan evaluasi pada Penyulang Toba, kemudian melakukan perhitungan susut energi untuk mengetahui seberapa besarnya energi hilang secara teknis pada instalasi jaringan tegangan menengah. terhadap sistem di Unit Layanan Pelanggan (ULP) Anambas.

BAB V : PENUTUP

Kesimpulan dan saran penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada Dalam distribusi tenaga listrik, salah satu indikator utama untuk menilai tingkat efisiensi sistem adalah besarnya energi yang hilang selama proses penyaluran. Energi yang hilang ini, dikenal sebagai susut energi, dapat terjadi akibat faktor teknis seperti kondisi jaringan dan peralatan, maupun non-teknis seperti pencatatan meter yang tidak akurat atau kehilangan lain yang tidak terdeteksi. Umumnya, metode yang digunakan untuk menghitung susut energi pada penyulang adalah dengan membandingkan energi listrik yang masuk dan energi yang tercatat sebagai konsumsi pelanggan. Namun, penelitian ini mengembangkan metode perhitungan yang lebih terperinci dengan memisahkan antara susut yang berasal dari penghantar (konduktor) dan dari transformator, sehingga masing-masing sumber susut dapat dianalisis secara spesifik. Pada studi kasus penyulang Kayoman, ditemukan bahwa susut teknis mencapai 103,23 kW dan susut non-teknis sebesar 22,78 kW, dengan total kehilangan energi sebesar 126,02 kW. Beberapa langkah perbaikan dilakukan untuk menekan angka tersebut, antara lain peningkatan efisiensi jaringan tegangan menengah (SUTM) yang mampu mengurangi susut pada konduktor sebesar 41,4%, serta optimasi pada transformator yang menghasilkan penurunan susut hingga 7,7%. Perbaikan paling signifikan dilakukan dengan memparalelkan penyulang, yang terbukti mampu menurunkan total susut energi hingga 50% (Yuntyansyah, Wibawa and Utomo, 2015).

PT PLN (Persero) merupakan perusahaan milik negara yang bertanggung jawab dalam pengelolaan sistem kelistrikan di Indonesia, mencakup proses dari pembangkitan, penyaluran, distribusi, hingga penjualan energi listrik kepada konsumen. Di wilayah kerja PLN Area Semarang, jumlah pelanggan pada bulan Desember 2016 tercatat sebanyak 1.426.003. Dari Gardu Induk di area tersebut, total energi listrik yang disalurkan mencapai 456.759.038 kWh, sedangkan energi yang berhasil dijual kepada pelanggan sebesar 428.528.298 kWh. Selisih antara energi tersalurkan dan energi terjual

ini menunjukkan adanya susut energi yang terjadi dalam sistem. Susut ini umumnya disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor teknis dan non-teknis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab susut energi listrik dengan menggunakan pendekatan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Berdasarkan data dari Januari hingga Oktober 2016, diketahui bahwa Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menjadi penyumbang susut energi terbesar. Analisis menunjukkan bahwa terdapat beberapa potensi kegagalan dalam JTM, dan salah satu yang paling signifikan adalah kerusakan pada kawat atau konduktor, dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi mencapai 250. Oleh karena itu, jenis kegagalan ini dianggap paling kritis dan perlu mendapatkan penanganan secara prioritas. (F. 2019)

tudi mengenai perhitungan susut teknis telah dilakukan di PT PLN (Persero) Rayon Singkil. Penelitian ini mengulas metode perhitungan rugi-rugi energi teknis yang dibagi berdasarkan segmen jaringan, yaitu Jaringan Tegangan Menengah (JTM), transformator, Jaringan Tegangan Rendah (JTR), serta Sambungan Rumah (SR). Hasil analisis menunjukkan bahwa persentase susut teknis pada masing-masing bagian adalah 0,89% untuk JTM, 1,8% pada trafo, 3% pada JTR, dan 2,3% pada SR (Syukri, Muliadi and Akbar, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Frengki Eka Putra Surusa, Qurrotul Aini, Amelya Indah Pratiwi, dan Yasin Mohamad membahas mengenai analisis susut non-teknis yang disebabkan oleh gangguan pada kWh meter di PT PLN UP3 Gorontalo. Studi ini secara khusus mengevaluasi perhitungan energi yang hilang akibat proses penanganan gangguan pada kWh meter Prabayar, khususnya pada pelanggan dengan tarif rumah tangga (Surusa *et al.*, 2024).

Sadikin, Saiful Karim, dan Ayu Novia Lisdawati telah melakukan sebuah studi mengenai *Analisis Pengaruh Peremajaan kWh Meter 1 Fasa Pascabayar Terhadap Penjualan Tenaga Listrik* di PT PLN (Persero) ULP Lambung Mangkurat. Penelitian ini membahas adanya indikasi kerusakan pada kWh meter 1 fasa tipe pascabayar, proses

pelaksanaan penggantian meter tersebut, serta dampak yang timbul terhadap penjualan listrik setelah peremajaan dilakukan (Aziz, Tarigan and Rahmaniar, 2025).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Indra Firdaus, Ismiarta Aknuranda, dan Nanang Yudi Setiawan berjudul *Evaluasi dan Perbaikan Proses Bisnis Pembacaan Meter Pascabayar di PT PLN (Persero) UP3 Malang*, dibahas berbagai permasalahan yang muncul dalam proses pembacaan meter pascabayar. Beberapa kendala yang diidentifikasi meliputi kesalahan input data, pelanggan yang tercatat dalam Rute Baca Meter (RBM) yang tidak sesuai, ketidaktepatan dalam pembacaan angka meter, serta hambatan fisik seperti rumah yang tidak dapat diakses karena tertutup atau pagar yang terkunci. (Firdaus, Aknuranda and Setiawan, 2021).

Zuraidah Tharo, Budhi, Siti, Cholish telah melakukan penelitian Analisis Perbandingan Kinerja Kwh Meter Prabayar Dan Pasca bayar yang membahas tentang perhitungan error kWh Meter (Tharo *et al.*, 2021).

Muhammad Sekti Yolansyah dalam penelitiannya yang berjudul: Kajian Ekonomis Kerugian Listrik PLN Akibat Pencurian Dengan Metode Merubah MCB dan Pengaruhnya Terhadap Pengukuran pada kWh Meter membahas tentang gangguan pada kWh meter pascabayar yang berdampak pada akurasi pengukuran konsumsi Listrik (Yolansyah, 2018).

Analisis dan Penyempurnaan Prosedur Pembacaan Meter Pascabayar pada PT PLN (Persero) UP3 Malang (Firdaus, Aknuranda, 2021). Penelitian ini membahas tentang beberapa kemungkinan kesalahan pembacaan meter pascabayar yaitu kesalahan input angka, pintu/ pagar dikunci, Rute Baca Meter yang tidak sesuai (Firdaus, Aknuranda and Setiawan, 2021)

Penelitian berjudul *Analisis Susut Energi Non Teknis pada Jaringan Distribusi PLN Rayon Koba* ini membahas metode penentuan susut distribusi dengan menggunakan teknik sampling untuk data susut bulan Januari. Dalam penelitian ini, juga diperhitungkan data aset dari SUTM, Sambungan Rumah (SR), serta data penambahan trafo. Dengan

menggunakan simulasi perhitungan melalui formula Jogja, diperoleh nilai susut teknis sebesar 3,699% dan susut non-teknis sebesar 2,944%.(Putri, Jumnahdi and Gusa, 2017). Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0028.P/DIR/2023 mengatur mengenai penertiban penggunaan tenaga listrik (P2TL).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Susut Energi Listrik

Susut energi (losses) merupakan kehilangan energi listrik yang terjadi akibat perbedaan antara total energi listrik yang tersedia dengan energi listrik yang berhasil dijual kepada konsumen. Besarnya susut energi dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\frac{\text{Kwh Beli}-\text{Kwh Jual}}{\text{kwh Beli}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Gambar 2.1 Susut Energi Listrik.

Berdasarkan Sesuai dengan Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 217-1.JK/DIR/2005 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (kWh), susut energi listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu:

a) Berdasarkan Sifatnya

1) Susut Teknis

Susut teknis merujuk pada energi listrik yang hilang selama proses pengiriman dari pembangkit hingga konsumen, yang terjadi akibat konversi energi menjadi panas. Kehilangan ini bersifat alami dan tidak dapat dihindari karena merupakan bagian dari proses teknis pada sistem kelistrikan. Energi tersebut berubah menjadi panas pada berbagai komponen seperti Jaringan Tegangan Tinggi (JTT), Gardu Induk (GI), Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan

Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR), serta Alat Pengukur dan Pembatas (APP). Penyebab utama susut teknis dapat dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$P_{loss} = I^2 R t \text{ atau } P_{loss} = I R I T \quad (2.2)$$

dengan:

I = arus beban (Ampere)

R = nilai tahanan penghantar (Ohm)

T = waktu (hour)

Komponen kunci dalam persamaan ini adalah arus listrik (I) yang diukur dalam Ampere, yang menunjukkan besarnya aliran arus pada sistem distribusi, serta resistansi penghantar (R) dalam satuan Ohm, yang merupakan hambatan listrik pada konduktor. Besarnya resistansi inilah yang menjadi faktor utama penyebab terjadinya susut energi teknis.

2) Susut Nonteknis

Susut non-teknis merujuk pada kehilangan energi listrik yang digunakan oleh pelanggan maupun pihak lain, namun tidak tercatat sebagai energi yang terjual. Faktor-faktor yang menyebabkan susut non-teknis antara lain kesalahan dalam pembacaan meter, pemasangan kabel yang tidak tepat pada kWh meter, ketidakakuratan pengukuran alat pengukur dan pembatas (APP), serta tindakan pencurian listrik. Kesalahan pembacaan meter dapat menimbulkan perbedaan antara data yang tercatat di kWh meter dengan data yang digunakan untuk penagihan listrik. Jika konsumsi listrik sebenarnya lebih tinggi dari yang tercatat, selisih tersebut akan dihitung sebagai susut. Untuk mengatasi masalah ini,

dilakukan pelatihan dan pembinaan terhadap tenaga pembaca meter serta penerapan metode dan aplikasi pembacaan yang lebih akurat. Ketidaktepatan pada alat ukur dapat menyebabkan perbedaan antara energi yang tercatat dengan yang sebenarnya digunakan oleh pelanggan, yang bisa disebabkan oleh kerusakan pada kWh meter, kabel, CT/PT, atau faktor lainnya. Upaya penyelesaiannya meliputi penggantian kWh meter secara berkala dan pemeriksaan rutin terhadap alat-alat pengukuran.

Akhir-akhir ini, metode pencurian listrik semakin bervariasi, termasuk penggunaan alat khusus, sambungan langsung dari Sambungan Rumah (SR), serta manipulasi pada kabel dan meteran listrik. Untuk mengurangi tindakan pencurian tersebut, dilakukan langkah pencegahan secara persuasif dengan memberikan edukasi kepada masyarakat mengenai dampak negatif pencurian listrik, melalui media maupun sosialisasi langsung. Selain itu, upaya korektif juga diterapkan dengan melaksanakan Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik (P2TL) secara intensif dan dengan tingkat akurasi yang tinggi.

b) Berdasarkan Tempat Terjadinya

1) Susut Transmisi

Kehilangan energi listrik pada sistem transmisi, atau yang dikenal sebagai susut transmisi, terjadi selama proses penyaluran daya dari jaringan transmisi ke gardu induk. Susut ini umumnya disebabkan oleh faktor teknis, termasuk rugi-rugi energi yang muncul pada Jaringan Tegangan Tinggi (JTT) dan Gardu Induk (GI).

2) Susut Distribusi

Susut distribusi merujuk pada kehilangan energi listrik yang terjadi selama proses penyaluran dari Gardu Induk (GI) ke pelanggan melalui jaringan distribusi tegangan menengah. Kehilangan ini bisa disebabkan oleh faktor teknis maupun non-teknis. Komponen jaringan

yang terlibat dalam susut distribusi meliputi Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR), serta Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pada pelanggan Tegangan Tinggi (TT), Tegangan Menengah (TM), dan Tegangan Rendah (TR). Jika jaringan tegangan tinggi digunakan sebagai bagian dari sistem distribusi, maka rugi-rugi energi yang terjadi pada jaringan tersebut juga dikategorikan sebagai susut distribusi.

- c) Berdasarkan Standar PT PLN (Persero) Nomor 217-1.K/DIR/2005 (PT PLN, 2005), definisi dan klasifikasi susut energi dijelaskan sebagai berikut:
1. Susut energi merupakan jumlah energi listrik dalam satuan kWh yang hilang selama proses penyediaan dan penyaluran energi, baik akibat faktor teknis maupun non-teknis.
 2. Susut teknis adalah bentuk kehilangan energi yang disebabkan oleh faktor teknis, di mana energi listrik berubah menjadi panas ketika melewati berbagai komponen sistem distribusi, seperti Jaringan Tegangan Tinggi (JTT), Gardu Induk (GI), Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR), serta Alat Pembatas dan Pengukur (APP).
 3. Susut non-teknis adalah selisih antara total susut energi dengan susut teknis, biasanya disebabkan oleh faktor-faktor seperti kesalahan pengukuran atau praktik ilegal seperti pencurian listrik.

Sementara itu, susut pada sisi Tegangan Menengah (TM) mencakup keseluruhan susut, baik teknis maupun non-teknis, yang terjadi pada Jaringan Tegangan Menengah, Gardu Distribusi, dan APP untuk pelanggan TM. Nilai susut teknis pada JTM dapat dihitung menggunakan rumus tertentu. Susut teknis JTM dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S(kWh) \text{ 3 fasa} = 3 \times \sum n^2 \times I_{gw}^2 \times R_{gw} \times LsF \times t \times F_{kor} \times 10^{-3} \text{ kWh} \quad (2.3)$$

dengan :

L_{gw} = jarak gawang antar titik beban (L_{total} penyulang/n (km)

R_{gw} = resistansi penghantar antar titik beban (R_{total}/n)

LsF = faktor susut (loss factor)

t = kurun waktu (720 jam)

F_{kor} = faktor koreksi akibat tidak keseimbangan, ketidakmerataan beban, faktor resistansi, temperatur, dan lain-lain.

Sedangkan untuk energi yang masuk ke penyulang dirumuskan oleh persamaan sebagai berikut:

$$E(kWh) = V \cdot I_{pp} \cdot \sqrt{3} \cdot PF \cdot LsF \cdot t \text{ (kWh)} \quad (2.4)$$

Dengan :

V = tegangan 20 kv

I_{pp} = arus puncak (peak) pangkal penyulanh

PF = faktor daya ($\cos \phi$)

LsF = faktor susut (loss factor)

T = kurun waktu (720 jam)

Selanjutnya, apabila energi yang masuk ke penyulang utama dalam satu bulan diketahui maka arus puncak (I_{pp}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

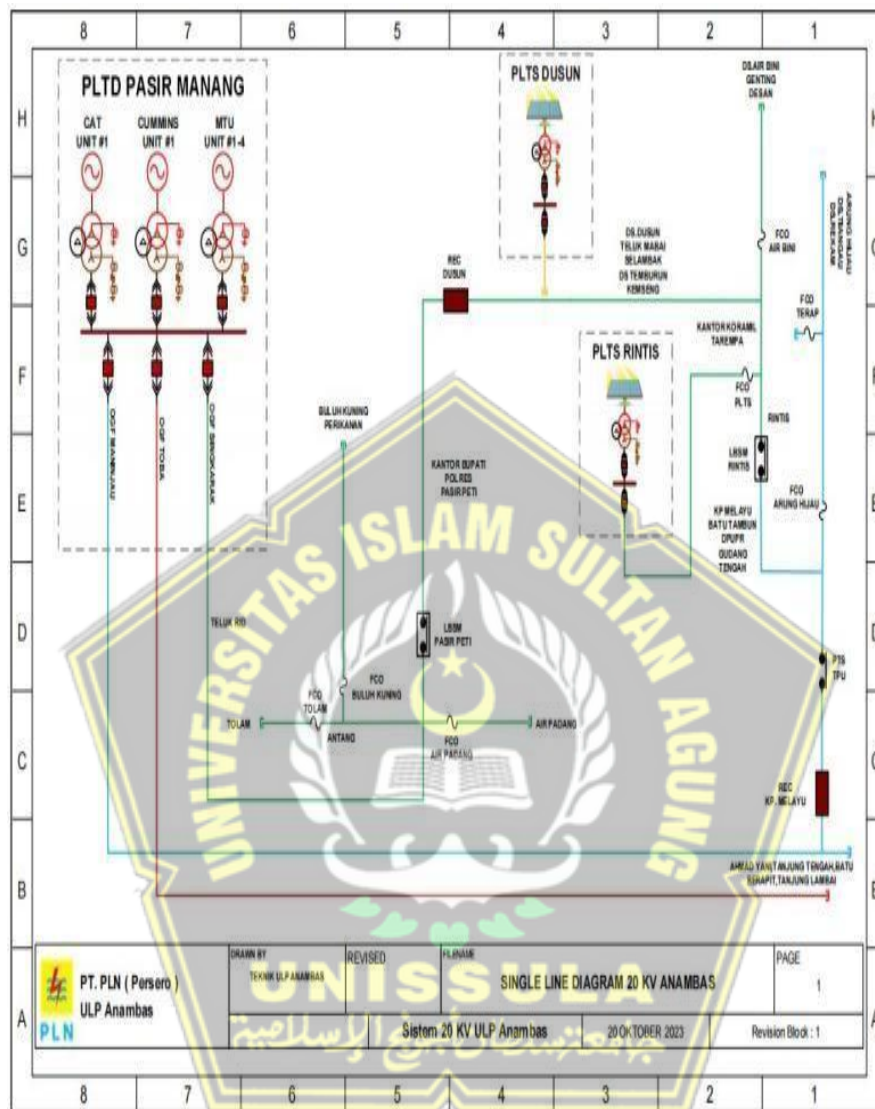
$$I_{pp} = \frac{E(kWh)}{\sqrt{3} \cdot V_{pp} \cdot PF \cdot LsF \cdot 720} \text{ (kWh)} \quad (2.5)$$

dengan :

I_{pp} = arus puncak (*peak*) pangkal penyulang,
 I_{gw} = faktor kepadatan beban = I_{pp}/n (Amp/km)
 LsF = faktor susut (*loss factor*)
 t = waktu (bila sebulan = 720 jam)
 F_{kor} = faktor koreksi akibat ketidakseimbangan, ketidakmerataan beban, faktor resistansi, temperatur, dan lain-lain
 PF = faktor daya ($\cos \phi$)
 V_{pp} = tegangan fasa-fasa

Susut pada sisi Tegangan Rendah (TR) mencakup kehilangan energi, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis, yang terjadi pada bagian jaringan tegangan rendah. Komponen yang termasuk dalam perhitungan ini meliputi Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR), serta Alat Pembatas dan Pengukur (APP) untuk pelanggan TR. Sementara itu, susut jaringan didefinisikan sebagai total energi listrik dalam satuan kWh yang hilang selama proses penyaluran melalui jaringan transmisi dan distribusi. Nilai ini merupakan hasil penjumlahan dari susut yang terjadi pada sistem transmisi dan sistem distribusi.

2.2.2 Jaringan Tegangan Menengah



Gambar 2.2 Single Line Diagram.

Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yang juga dikenal sebagai jaringan distribusi primer, merupakan komponen dari sistem kelistrikan yang menghubungkan Gardu Induk (GI) dengan Gardu Distribusi (GD). Dalam distribusi tenaga listrik pada jaringan primer ini, terdapat tiga jenis saluran yang digunakan, yaitu saluran udara terbuka (kawat udara), kabel udara



berisolasi (aerial cable), serta kabel bawah tanah. Di lingkungan PT PLN, jaringan ini umumnya beroperasi pada level tegangan 12 kV dan 20 kV. Struktur dari Jaringan Tegangan Menengah ini terdiri dari beberapa elemen utama:

a) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

SUTM merupakan merupakan jenis konstruksi jaringan distribusi yang paling ekonomis untuk penyaluran daya listrik dalam jumlah yang sama. Di Indonesia, SUTM menjadi pilihan utama untuk konsumen pada jaringan tegangan menengah. Jenis jaringan ini dikenal sebagai sistem penghantar terbuka karena menggunakan kawat tanpa isolasi. Karakteristik khas dari SUTM adalah penggunaan konduktor telanjang yang dipasang pada isolator yang terhubung dengan tiang berbahan beton atau logam. Komponen utama dari jaringan ini meliputi tiang (baik dari beton maupun besi), lengan penyangga (cross arm), serta penghantar. Material konduktor yang umum digunakan adalah aluminium atau jenis AAAC, dengan ukuran bervariasi seperti 240 mm², 150 mm², 70 mm², hingga 35 mm².

b) Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM merupakan salah satu jenis konstruksi jaringan distribusi yang dikenal lebih aman dan andal dalam penyaluran energi listrik pada tingkat tegangan menengah. Meskipun biaya implementasinya lebih tinggi dibandingkan dengan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) untuk kapasitas daya yang sama, SKTM memiliki keunggulan dalam mengurangi potensi gangguan operasional yang disebabkan oleh faktor eksternal, sekaligus meningkatkan keselamatan sistem kelistrikan. Jenis kabel yang umum digunakan dalam SKTM adalah kabel berisolasi XLPE, yang memiliki kemampuan isolasi tinggi dan tahan terhadap tegangan tembus. Kabel ini biasanya ditanam langsung ke dalam tanah

dengan kedalaman tertentu dan dilindungi dari kemungkinan kerusakan mekanis eksternal. Komponen-komponen JTM :

a) Tiang

Tiang listrik adalah salah satu elemen penting dalam sistem saluran udara tegangan rendah maupun tegangan menengah, yang berfungsi utama sebagai penopang bagi konduktor listrik. PT PLN (Persero) menggunakan berbagai jenis tiang listrik yang disesuaikan dengan kebutuhan teknis dan kondisi lapangan. (Alfama Zamista and Musri, 2019) yaitu:

1) Tiang Beton

Tiang beton merupakan jenis tiang pratekan berbentuk silinder dengan penampang melingkar dan memiliki rongga di bagian tengah, dibuat menggunakan teknik pemutaran mesin. Jenis tiang ini paling umum digunakan oleh PT PLN karena harganya relatif lebih terjangkau dibandingkan tiang berbahan logam. Jika tiang beton pada jaringan tegangan menengah sudah menunjukkan tanda-tanda kerusakan atau pelapukan, maka perlu segera diganti. Untuk tiang yang miring, perbaikannya dilakukan dengan menarik tiang menggunakan alat penyangga tarik (*track schoor*) agar kembali tegak dan mampu menopang konduktor tegangan menengah dengan stabil.

2) Tiang Kayu

Di beberapa daerah operasional PT PLN yang memiliki ketersediaan kayu mencukupi, tiang kayu pernah digunakan sebagai penyangga konduktor listrik. Namun, karena daya tahannya rendah dan mudah mengalami pelapukan, penggunaan tiang jenis ini saat ini sudah sangat jarang ditemukan.

3) Tiang Besi

Tiang besi dibuat dari pipa logam yang disambung untuk mendapatkan kekuatan mekanik sesuai kebutuhan. Walaupun biayanya lebih tinggi, tiang ini masih diperbolehkan untuk digunakan di wilayah tertentu, terutama jika belum tersedia fasilitas produksi tiang beton, karena bobotnya yang lebih ringan. Tiang besi yang mengalami kerusakan seperti pelapukan atau deformasi sebaiknya segera diganti. Jika hanya terdapat karat atau bekas stiker, perbaikannya cukup dilakukan dengan pengecatan ulang guna menghilangkan karat serta memperbaiki penampilan fisik tiang.

4) Cross Arm (Lengan Tiang) / Travers

Cross arm, atau lengan tiang, berfungsi sebagai tempat pemasangan isolator dan perlengkapan lain yang diperlukan pada tiang listrik. Biasanya dibuat dari bahan logam dan dipasang pada tiang menggunakan peralatan seperti klem, sekrup, baut, dan mur. Pada cross arm ini akan dipasang baut yang menjadiudukan isolator dan peralatan pendukung lainnya. Lubang-lubang pada cross arm dibuat terlebih dahulu untuk mempermudah pemasangan. Untuk tiang beton, baut dapat langsung menembus tanpa memerlukan klem tambahan. Agar lengan tiang tetap stabil dan tidak miring akibat beban, biasanya ditambahkan penyangga dari logam. Pemeriksaan rutin terhadap kondisi cross arm sangat penting, karena komponen ini berperan vital dalam menyangga kabel dan isolator di jaringan tegangan menengah. Jika ditemukan dalam kondisi rusak atau lapuk, maka akan segera diganti oleh petugas PLN agar tetap mampu menahan beban kabel dengan aman.

5) Isolator

Isolator berfungsi utama sebagai pemisah listrik antara satu konduktor dengan konduktor lainnya serta antara konduktor dengan tanah. Karena konduktor yang disekat membawa beban mekanis seperti gaya tarik, berat sendiri, serta dipengaruhi oleh suhu dan hembusan angin, isolator harus mampu menahan beban mekanis tersebut. Kemampuan isolator untuk mencegah aliran arus ke tanah bergantung pada kekuatan isolasi antara kawat dengan tiang logam. Berdasarkan fungsinya, isolator dibedakan menjadi dua jenis:

a) Isolator Tumpu (Pin Insulator)

Jenis ini berfungsi menahan beban mekanis dari penghantar, dan dipasang tegak lurus di atas cross arm. Jika konduktor dipasang pada bagian atas isolator, maka beban tarik maksimal yang bisa ditahan hanya sekitar 2° . Namun, jika konduktor dipasang pada bagian sisi atau leher isolator, sudut tarik yang bisa ditoleransi mencapai 18° .

Pemeriksaan terhadap isolator jenis ini dilakukan untuk memastikan tidak terdapat keretakan, pecah, atau keausan yang dapat mengurangi kemampuan isolator dalam menahan kabel TM. Pengencangan baut juga perlu diperhatikan agar isolator tidak longgar. Bila ditemukan isolator dalam kondisi rusak, harus segera dilakukan penggantian.

b) Isolator Tumpu Tarik (Strain Insulator)

Isolator jenis ini dirancang untuk menopang beban konduktor sekaligus gaya tarik tambahan, biasanya pada titik-titik penting seperti tiang awal, tiang akhir, belokan, atau percabangan. Pemasangannya berada di sisi travers dan

searah dengan gaya tarik dari kabel. Pengikat konduktor dilakukan menggunakan strain clamp, dan dikunci dengan mur-baut yang menggantung di bawah travers sebagai sistem penguat.

Inspeksi isolator tarik mencakup pengecekan visual terhadap kerusakan seperti retakan atau pecah, yang dapat mengurangi kinerjanya. Pengencangan komponen baut harus dipastikan optimal. Jika ditemukan isolator gantung yang tidak lagi layak, harus diganti agar kabel TM tetap tertopang dengan aman.

A) Penghantar atau Kabel

Penghantar atau kabel berperan sebagai media utama untuk mengalirkan arus listrik. Pada jaringan udara, penghantar biasanya disebut kawat, yaitu konduktor yang tidak berlapis isolasi (telanjang). Sedangkan pada jaringan bawah tanah atau jaringan udara yang menggunakan pelindung isolasi, penghantar tersebut dikenal sebagai kabel. Sifat penghantar yang ideal meliputi beberapa karakteristik, antara lain:

- 1) Memiliki konduktivitas listrik yang tinggi
- 2) Kuat terhadap gaya Tarik
- 3) Memiliki kelenturan yang baik
- 4) Memiliki bobot yang ringan

Untuk memastikan kondisi penghantar tetap baik, dilakukan pemeriksaan rutin pada kabel atau konduktor jaringan Tegangan Menengah (TM). Pemeriksaan ini meliputi pengecekan kerusakan fisik atau kondisi kendur pada kabel sepanjang jalur distribusi. Jika ditemukan adanya kerusakan, petugas PLN akan segera melakukan perbaikan atau penggantian kabel dengan yang baru. Apabila kabel dalam kondisi kendur, perbaikan

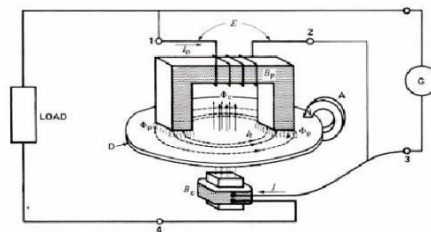
dilakukan dengan menarik kabel tersebut setelah jaringan listrik dimatikan untuk menjamin keamanan selama proses perbaikan berlangsung.

B) Fuse Cut Out (FCO)

adalah perangkat pengaman yang digunakan untuk melindungi jaringan listrik dari gangguan berupa arus lebih (overload) yang melebihi kapasitas maksimum yang diizinkan. Gangguan ini biasanya muncul akibat adanya hubungan singkat (short circuit) atau beban berlebih pada jaringan. Meskipun konstruksi FCO lebih sederhana dibandingkan dengan circuit breaker yang biasanya dipasang di Gardu Induk (sub-station), fungsi pengamanannya tetap setara. Satu unit FCO hanya dapat memutuskan satu konduktor atau fase. Oleh karena itu, untuk sistem tiga fase diperlukan tiga buah FCO. FCO ditempatkan sebagai proteksi awal sebelum arus masuk ke trafo distribusi. Saat terjadi gangguan seperti arus lebih atau hubungan singkat, elemen fuse di dalam tabung akan meleleh, sehingga FCO memutuskan aliran listrik untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

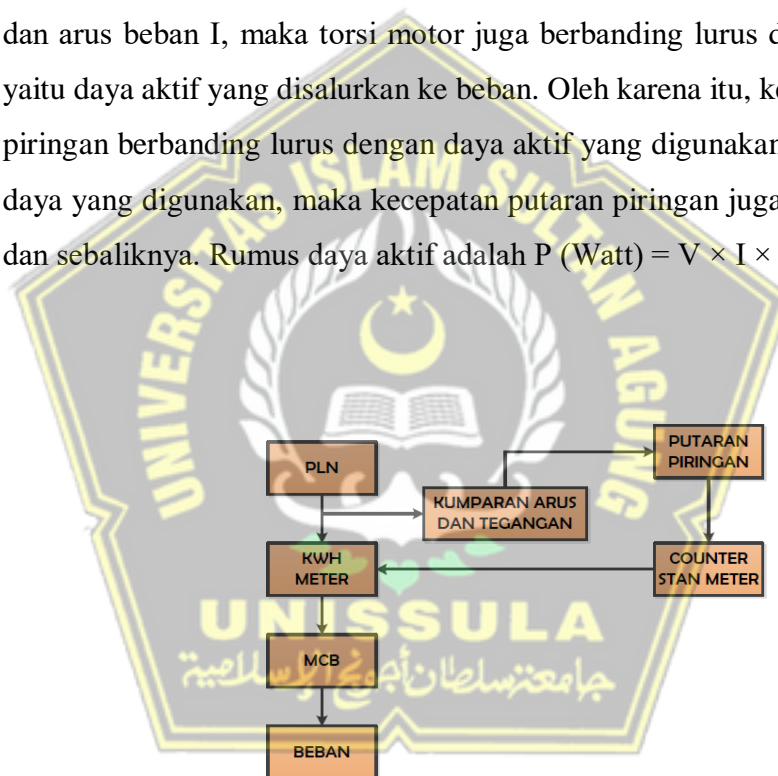
2.2.3 Prinsip kerja kWh Meter Analog

Cara kerja kWh meter ini memanfaatkan prinsip induksi magnetik, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik melalui kumparan arus berinteraksi dengan medan magnet yang dibentuk oleh arus pada kumparan tegangan. Interaksi kedua medan magnet ini kemudian memengaruhi pergerakan piringan putar (disc) pada kWh meter.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja kWh Meter Pascabayar

Berdasarkan gambar 2.3, arus beban I menghasilkan fluks bolak-balik Φ_c yang melewati piringan aluminium dan menginduksi tegangan serta arus eddy di dalamnya. Kumparan tegangan B_p juga menghasilkan fluks bolak-balik Φ_p yang memotong arus I_f . Hal ini menyebabkan piringan mengalami gaya yang menghasilkan torsi, sehingga piringan dapat berputar. Besarnya torsi ini bergantung pada fluks Φ_p , arus I_f , dan nilai cosinus sudut antara keduanya. Karena fluks Φ_p dan arus I_f berbanding lurus dengan tegangan E dan arus beban I , maka torsi motor juga berbanding lurus dengan $EI \cos \theta$, yaitu daya aktif yang disalurkan ke beban. Oleh karena itu, kecepatan putaran piringan berbanding lurus dengan daya aktif yang digunakan. Semakin besar daya yang digunakan, maka kecepatan putaran piringan juga semakin tinggi, dan sebaliknya. Rumus daya aktif adalah $P \text{ (Watt)} = V \times I \times \cos \phi$.



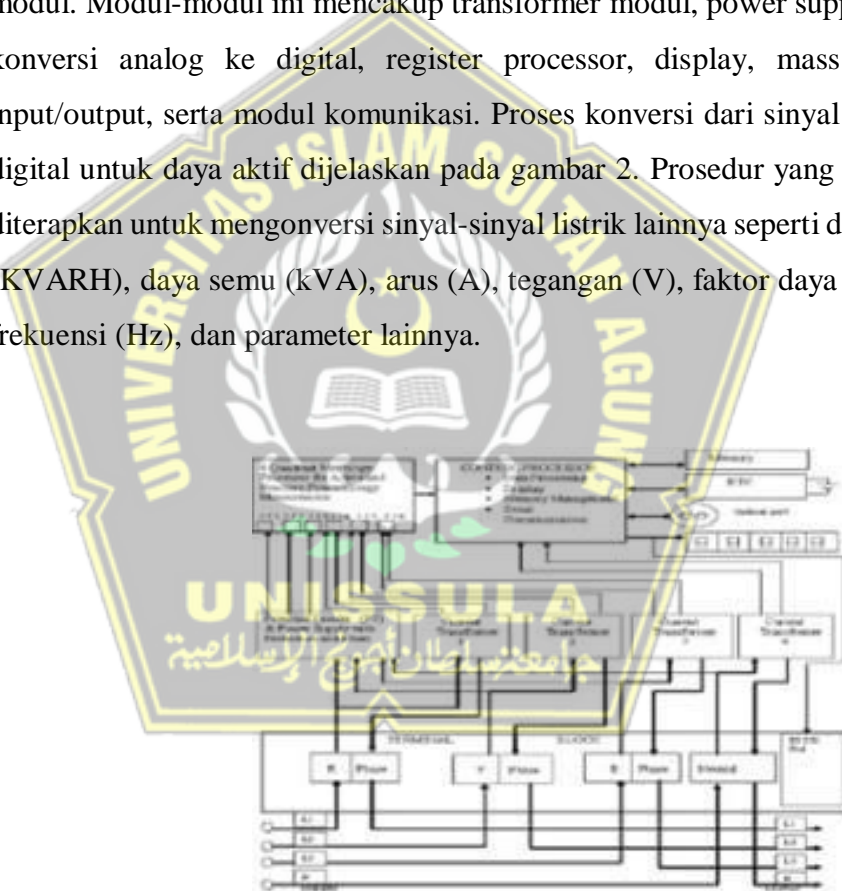
Gambar 2.4 Diagram Blok Rangkaian Sistem kWh Meter Pascabayar Fasa

dan netral dari sumber PLN tersambung ke terminal masuk kWh meter, di mana arus melewati kumparan arus dan kumparan tegangan yang menghasilkan induksi magnetik untuk memutar piringan di dalam kWh meter. Piringan ini terhubung dengan counter yang menampilkan angka pemakaian listrik. Perbedaan antara pemakaian sebelumnya dan saat ini akan dihitung

sebagai tagihan listrik. Setelah melewati kWh meter, aliran listrik diteruskan ke MCB yang berfungsi sebagai pembatas dan pelindung sebelum sampai ke beban atau instalasi pelanggan.

2.1.1 kWh Meter 3 Fasa Elektronik

KWh Meter elektronik bekerja dengan prinsip elektronik, di mana sinyal arus dan tegangan dalam bentuk sinyal analog diubah menjadi sinyal modul. Modul-modul ini mencakup transformer modul, power supply, modul konversi analog ke digital, register processor, display, mass memory, input/output, serta modul komunikasi. Proses konversi dari sinyal analog ke digital untuk daya aktif dijelaskan pada gambar 2. Prosedur yang sama juga diterapkan untuk mengonversi sinyal-sinyal listrik lainnya seperti daya reaktif (KVARH), daya semu (kVA), arus (A), tegangan (V), faktor daya (Cos Phi), frekuensi (Hz), dan parameter lainnya.



Gambar 2.5 Diagram Blok kWh Meter Elektronik

Dalam transaksi bisnis listrik antara PT PLN (Persero) dan pelanggan, yang menjadi dasar utama adalah pemakaian daya dan energi listrik oleh konsumen. Pemakaian daya berkaitan dengan kapasitas daya yang terpasang pada pelanggan, di mana pembayaran dilakukan secara tetap setiap bulan

dengan tarif Rp/VA. Sementara itu, pemakaian energi listrik dihitung berdasarkan kategori tarif pelanggan dan tarif per Rp/KWH.

2.1.2 Aplikasi Pelayanan Pelanggan Terpusat (AP2T)

Aplikasi Layanan Pelanggan Terpusat (AP2T) adalah sistem berbasis web yang mengintegrasikan berbagai proses bisnis dan kebijakan terbaru untuk Manajemen Pelanggan PLN. Aplikasi ini juga terhubung dengan sistem lain seperti Pembayaran Online, ERP PLN, layanan listrik prabayar, pembayaran non-tagihan, dan pusat layanan pelanggan (Contact Center). Beberapa layanan utama yang tersedia dalam AP2T meliputi:

1. Pengajuan pemasangan listrik baru
2. Pengajuan perubahan daya listrik
3. Pengalihan langganan dari pascabayar ke prabayar
4. Perubahan data pelanggan
5. Penerimaan pengaduan pelanggan
6. Permohonan penghentian sementara layanan
7. Permohonan penyambungan kembali layanan
8. Pengajuan penyambungan sementara
9. Pencatatan pelanggaran dalam Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik (P2TL)
10. Pencatatan pembacaan meter listrik
11. Pembuatan rekening listrik bulanan
12. Pencatatan pelunasan tagihan pelanggan
13. Pencetakan daftar pemutusan layanan pelanggan
14. Pencetakan daftar pembongkaran instalasi pelanggan

2.1.3 Error kWh

Pendapatan pengelola listrik bergantung pada pengukuran energi yang tercatat melalui kWh meter yang terpasang pada pelanggan. Oleh karena itu,

penting untuk melakukan pengujian keakuratan kWh meter baik sebelum pemasangan maupun setelahnya, guna memastikan bahwa putaran kWh meter mencerminkan penggunaan energi yang sebenarnya. Prosedur pengujian kWh meter ini dijelaskan berdasarkan persamaan tertentu yang relevan berikut ini:

$$\text{Error kWh} = \left(\frac{p1}{p2} - 1 \right) \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan:

$$P1 = \frac{N \times 3600 \times 1000}{C \times t} \text{ (kWh)}$$

$$P2 = P = V.I. \cos\phi \text{ (kWh)}$$

Dimana:

N = Jumlah putaran kWh meter yang diukur

C = Konstanta kWh meter (putaran/kWh)

t = Waktu putaran piringan kWh meter (detik)

Prosedur pengukuran error pada kWh meter dijelaskan sebagai berikut:

1. Beban listrik diukur berdasarkan jumlah putaran kWh meter.
2. Durasi putaran kWh meter dicatat menggunakan stopwatch.
3. Tegangan dan arus diukur dengan alat AVO meter.
4. Kelas dan nilai konstanta kWh meter dicatat dari nameplate yang tertera.
5. Hasil pengujian kemudian dihitung menggunakan rumus yang telah diberikan.

2.1.4 Tang Ampere

Tang Ampere, atau yang dikenal dalam bahasa Inggris sebagai Clamp Meter, adalah alat pengukur arus listrik yang bekerja dengan menjepit kabel penghantar tanpa perlu kontak langsung pada terminal listrik. Dengan cara ini,

pengukuran arus dapat dilakukan tanpa harus memutus atau mengganggu rangkaian listrik. Alat ini cukup ditempatkan mengelilingi kabel yang akan diukur. Sebagian besar Clamp Meter yang tersedia di pasaran juga memiliki fungsi tambahan sebagai multimeter. Selain rahang penjepit, alat ini biasanya dilengkapi dengan dua probe untuk mengukur nilai resistansi, tegangan AC dan DC, serta pada beberapa model khusus dapat mengukur frekuensi, arus DC, kapasitansi, bahkan suhu



Gambar 2.7 Tang Ampere

Prinsip kerja Tang Ampere (Clamp Meter) didasarkan pada induksi magnetik untuk melakukan pengukuran arus listrik AC tanpa harus menyentuh langsung kabel penghantar. Ketika arus AC mengalir melalui kabel, ia menciptakan medan magnet yang berubah-ubah sesuai dengan arah dan besar arus yang bolak-balik tersebut. Di dalam alat Clamp Meter terdapat sebuah transformator yang menangkap perubahan medan magnet ini dan mengubahnya menjadi besaran arus listrik yang kemudian ditampilkan pada layar alat. Metode pengukuran ini sangat praktis dan memudahkan pengukuran arus listrik AC, terutama pada arus dengan nilai besar.

2.1.5 Analisa Rugi Daya

Untuk Dalam menganalisis perhitungan kehilangan daya pada penyulang jaringan distribusi tegangan menengah, terdapat dua jenis rugi-rugi

yang dihitung, yaitu rugi daya aktif dan rugi daya reaktif. Untuk menghitung rugi daya aktif, dapat dilakukan dengan pendekatan analisis menggunakan rumus kehilangan daya untuk sistem tiga fasa, yang diformulasikan sebagai berikut :

$$(\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L) \quad (2.7)$$

Keterangan :

ΔP : Rugi Daya Aktif (Watt)

I : Arus (Ampere)

R : Resistansi (Ohm/Km)

L : Panjang Penampang / Jaringan (Km)

Sedangkan perhitungan kehilangan daya reaktif dapat dilakukan dengan metode analisis menggunakan rumus khusus untuk menghitung rugi-rugi daya reaktif pada sistem distribusi rugi 3 fasa sebagai berikut :

$$(\Delta Q = 3 \times I^2 \times X \times L) \quad (2.8)$$

Keterangan :

ΔQ : Rugi Daya Reaktif (VAR)

I : Arus (Ampere)

X : Reaktansi (Ohm/Km)

L : Panjang Penampang / Jaringan (Km)

Rugi energi listrik yang hilang setiap harinya dapat diperoleh melalui perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Wlosses = P \times t \quad (2.9)$$

Keterangan :

$Wlosses$: Rugi energi listrik (Watt)

P : Daya (VA)

T : Waktu (Jam/sekon)

Energi listrik yang tidak terjual dalam satuan rupiah, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Biaya Listrik} = \text{Rugi energi listrik (kWh)} \times \text{Tarif Tenaga Listrik (Rp)} \quad (2.10)$$

2.1.6 Spesifikasi Kabel Daya

Kabel daya N2XSEY / NA2XSEY 12/20(24) kV adalah kabel tegangan menengah yang digunakan untuk transmisi dan distribusi daya listrik. Kabel ini sesuai dengan standar IEC 60502-2 dan SPLN 43-5, memiliki konduktor tembaga atau aluminium, isolasi XLPE, pelindung layar kawat tembaga (copper wire screen), dan selubung luar PVC atau PE.

DIMENSIONAL AND ELECTRICAL DATA										3 CORES	
Nominal cross-sectional area	mm ²	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Conductor diameter (approx)	mm	7.1	8.25	9.9	11.7	13.1	14.3	16.3	18.2	20.9	23.7
Nominal insulation thickness	mm	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Insulation diameter (approx)	mm	19.7	20.9	22.5	24.3	25.7	26.9	28.9	31.3	33.5	36.3
Nominal outer sheath thickness	mm	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3
Overall cable diameter (approx)	mm	53	56	60	64	67	70	75	80	85	91
Cable net weight (approx)	CU	4,100	4,700	5,600	6,800	7,800	8,900	10,400	12,500	15,000	18,400
	AL	3,400	3,800	4,300	4,900	5,500	6,100	6,900	7,800	9,200	10,800
Standard length per-reel	m	500	500	500	500	350	350	350	350	350	300
Minimum bending radius	mm	450	480	520	570	600	630	690	740	790	860
Max. DC conductor resistance at 20 °C	CU	0.524	0.387	0.268	0.193	0.153	0.124	0.0991	0.0754	0.0601	0.0470
	AL	0.868	0.641	0.443	0.320	0.253	0.206	0.164	0.125	0.100	0.0778
Min. insulation resistance at 20 °C	MD/Km	1,400	1,300	1,100	1,000	900	900	800	700	700	600
Capacitance per phase	µF/Km	0.136	0.149	0.169	0.190	0.206	0.220	0.243	0.270	0.294	0.326
Inductance per phase	mH/km	0.393	0.374	0.353	0.335	0.323	0.315	0.303	0.292	0.28	0.274
Max.short circuit current of conductor	CU	5.18	7.36	10.26	13.88	17.49	21.81	26.86	34.78	43.41	57.79
	AL	3.45	4.89	6.81	9.19	11.58	14.43	17.76	22.98	28.67	38.14
Max.short circuit current of screen		2.77	2.92	3.14	3.38	3.57	4.66	3.99	4.31	4.60	6.21
Maximum current carrying	CU	175	208	259	316	364	414	474	558	635	767
	AL	140	163	201	244	283	321	368	429	486	599
capacity at 30 °C	CU	173	204	248	298	338	380	429	497	559	631
	AL	133	155	193	230	263	295	334	389	44	500
AC test voltage	kV/5 min	42 (IEC) , 30 (SPLN)									

Note : This is only general information. For other specific requirement, please contact our marketing.

Gambar 2.8 Kabel Daya

Struktur Kabel

Konduktor: Tembaga (CU) atau Aluminium (AL), sesuai IEC 60228 Kelas 2 (stranded)

Isolasi: XLPE (Cross-linked Polyethylene)

Layar: Kawat tembaga (dengan atau tanpa pita)

Penyekat Air: Opsional (swellable tape)

Selubung luar: PVC atau PE (warna umum: hitam)

2.1.7 Impedansi (Z)

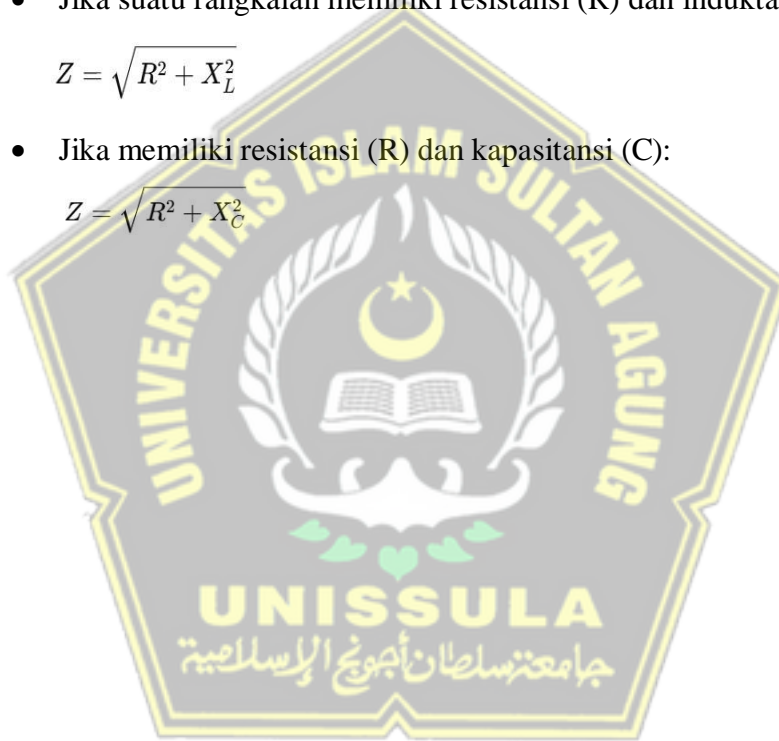
Impedansi (Z) adalah besaran atau ukuran yang menunjukkan sejauh mana suatu elemen dalam rangkaian listrik menahan arus listrik bolak-balik (AC). Impedansi merupakan perluasan dari konsep resistansi (R) dalam arus searah (DC), karena pada sistem AC tidak hanya resistansi yang berpengaruh, tetapi juga reaktansi akibat induktansi (L) dan kapasitansi (C).

- Jika suatu rangkaian memiliki resistansi (R) dan induktansi (L), maka:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

- Jika memiliki resistansi (R) dan kapasitansi (C):

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

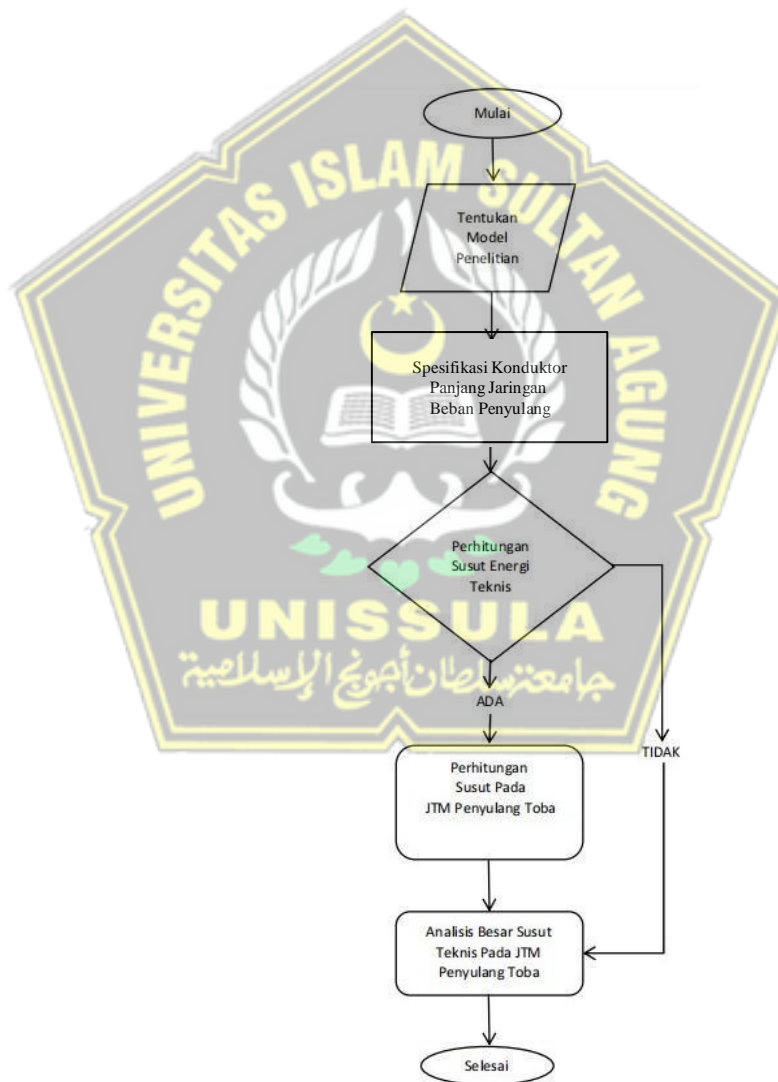


BAB III

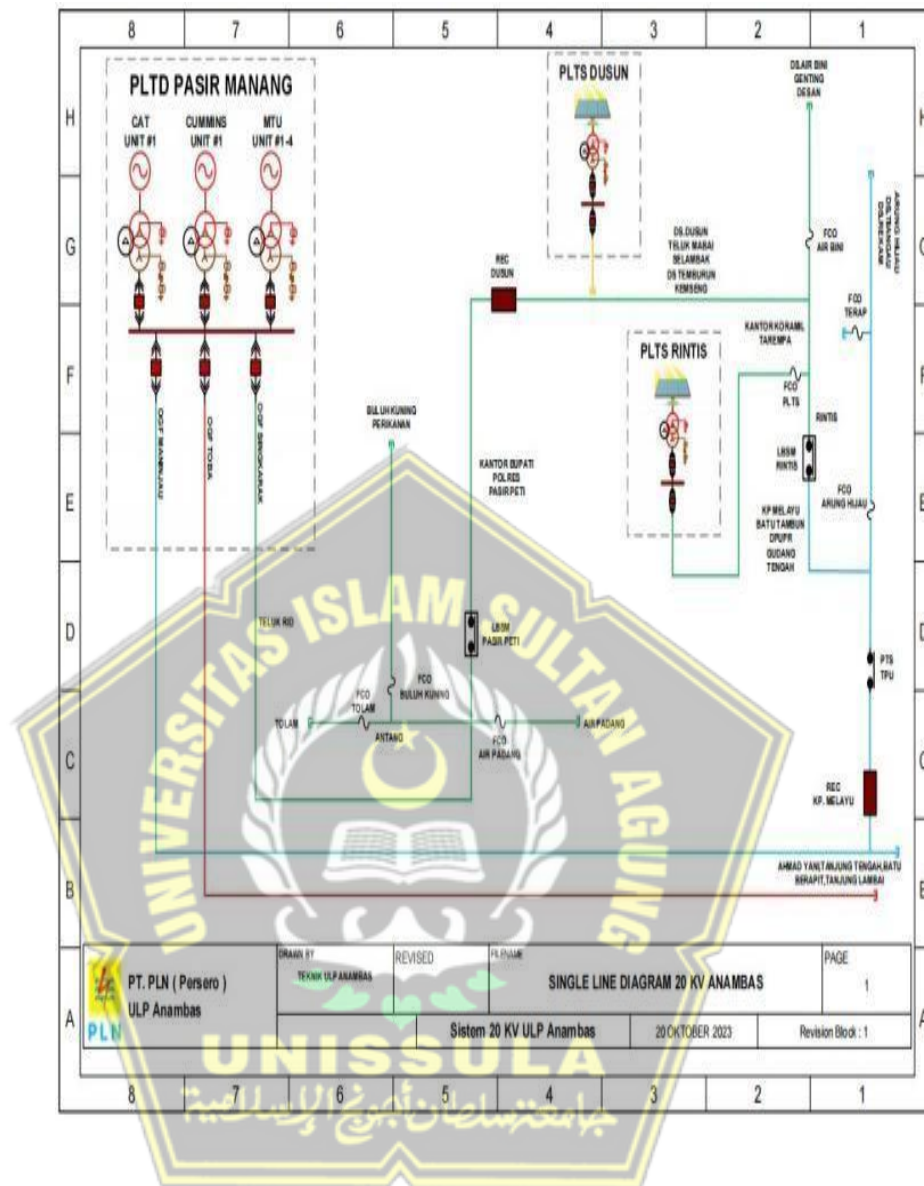
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lingkungan kerja PT PLN (Persero) ULP Anambas dengan pengambilan data yang bersumber dari unit tersebut. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian



Untuk sistem pembangkit pada ULP Anambas terdapat 4 mesin pembangkit dengan kapasitas 800 KW per unit menghasilkan total daya 3,2 MB kemudian disinkronkan pada trafo step up 20 KV Kemudian dari trafo stap up ke kubikel in coming-out going pada masing-masing penyulang. Kemudian dari kubikel in coming-out going menuju ke konduktor penyulang toba dengan menggunakan kabel XLPE dengan panjang 0.35 KMS, dan untukkabel AAAC dengan panjang 4.15 KMS sampai ke pelanggan.

3.1 Data Susut Teknik

Susut teknis adalah kehilangan energi listrik yang terjadi selama proses

transmisi dari pembangkitan hingga sampai ke konsumen, yang umumnya disebabkan oleh perubahan energi menjadi panas. Kehilangan ini merupakan hal yang wajar dan tidak bisa dihindari karena muncul akibat aspek teknis dalam sistem kelistrikan. Energi tersebut mengalami perubahan menjadi panas pada berbagai komponen sistem, seperti jaringan listrik, Gardu Induk (GI), Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR), serta Alat Pembatas dan Pengukur (APP). Dalam pembahasan susut teknis ini, fokus diarahkan pada besaran susut energi yang terjadi di Penyulang Toba. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya susut energi pada penyulang tersebut, dilakukan beberapa tahapan analisis sebagai berikut:

3.1.1 Pengukuran Beban Penyulang Jaringan Tegangan Menengah

Untuk pengukuran beban pada Penyulang Toba dilakukan dalam kurun waktu setiap 2 jam sekali, hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah beban pada tiap satuan waktu (jam) dan mengetahui berapa beban penyulang pada saat beban puncak. Pengukuran ini dilakukan berkelanjutan dalam kurun waktu 1 bulan.

3.1.2 Data Pengukuran kWh Meter Pada Penyulang Toba

Pada Penyulang Toba dilengkapi dengan kWh Meter penyulang bertujuan untuk mengetahui berapa pengukuran atau jumlah kWh yang terhitung pada Penyulang Toba, perhitungan pada kWh meter Penyulang Toba ini di data setiap awal dan akhir bulan. Dari selisih stan pada kWh Meter didapat jumlah produksi kWh dalam satu bulan di Penyulang Toba.

3.1.3 Data Pemakaian kWh Meter Pelanggan

Untuk mengukur jumlah energi listrik yang digunakan oleh pelanggan, dipasanglah alat ukur berupa kWh meter. Perangkat ini berfungsi sebagai alat pencatat konsumsi energi listrik. Data pemakaian dari kWh meter akan dihimpun selama periode satu bulan, sehingga melalui pembacaan kWh meter tersebut, dapat diketahui seberapa besar energi listrik yang dikonsumsi oleh pelanggan selama bulan berjalan.

3.1.4 Panjang Jaringan Tegangan Menengah Penyulang Toba

Pada jaringan tegangan menengah Penyulang Toba di ULP Anambas mempunyai panjang jaringan total 4.5 kms, untuk panjang jaringan tersebut di hitung dari awal existing Gardu Induk PLTD Anambas sampai ke ujung trafo distribusi terakhir. Dimana 4.15 kms menggunakan kabel penampang AAAC kabel telanjang dan 0.35 kms menggunakan kabel XLPE kabel yang berselubung isolator.

3.1.5 Ukuran penghantar yang digunakan pada Penyulang Toba

Untuk jaringan tegangan menengah Penyulang Toba menggunakan jenis kabel penghantar AAAC dengan ukuran 150 mm² dan kabel penghantar XLPE dengan ukuran 150 mm², karena sesuai dengan SPLN untuk jenis penghantar pada kabel jaringan tegangan menengah.

3.2 Data Gangguan Non Teknik

Di tahap ini, penulis merekap data Transaksi kWh produksi dan kWh pemakaian. kWh meter Prabayar dan Pascabayar yang macet. Beberapa Faktor-faktor untuk dilakukannya penggantian meter adalah:

3.2.1.1 Dilihat Secara Fisik

Terdapat sejumlah tanda atau gejala yang menunjukkan bahwa kWh meter mungkin mengalami kerusakan atau adanya kesalahan instalasi. Pada bagian ini akan diuraikan beberapa ciri-ciri yang bisa diamati secara

visual, sehingga pelanggan dapat mengenali dengan mudah apabila terdapat gangguan atau kerusakan pada kWh meter. Beberapa indikator tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

3.2.1.1.1 Piringan tidak berputar

Piringan yang tidak berputar dapat terjadi akibat terputusnya kumparan tegangan, sehingga tidak terbentuk medan magnet dari kumparan tersebut. Kondisi ini menyebabkan poros yang seharusnya menggerakkan roda gigi menjadi tidak berfungsi, sehingga roda gigi yang bertugas menggerakkan drum register pun tidak dapat bekerja. Apabila pelanggan menemukan bahwa kWh meter analog yang terpasang di bangunan mereka memiliki piringan yang tidak berputar atau berputar sangat lambat, disarankan untuk segera menghubungi pihak PLN guna mendapatkan penanganan lebih lanjut.

a. Kaca kWh Meter Mengalami Keburaman

Kondisi kaca pada kWh meter yang tidak lagi jernih dapat mengakibatkan kesalahan dalam proses pencatatan angka pemakaian oleh petugas lapangan. Hal ini berpotensi menyebabkan terjadinya kesalahan manusia (human error) dalam perhitungan tagihan listrik.

b. Terminal Meleleh

Terminal yang meleleh biasanya disebabkan oleh penggunaan daya melebihi kapasitas kabel atau akibat kondisi kabel yang telah menua dan tidak layak pakai, sehingga tidak mampu lagi menahan beban arus yang tinggi.

c. Segel Rusak atau Terkena Korosi

Kerusakan pada segel dapat terjadi akibat pengaruh lingkungan maupun faktor usia, yang menyebabkan segel menjadi longgar atau bahkan putus. Jika segel pada bagian penutup meter (oakast) rusak dan menyebabkan

terbukanya penutup tersebut, maka meteran berisiko mengalami gangguan atau kerusakan akibat pengaruh dari luar, seperti hewan. Oleh karena itu, apabila ditemukan segel yang berkarat atau putus, pelanggan disarankan segera melapor ke pihak PLN untuk penanganan lebih lanjut.

4 Perhitungan Energi yang Tidak Tercatat

Langkah ini bertujuan untuk menghitung total energi listrik (dalam kWh) yang tidak tercatat akibat kerusakan atau tidak berfungsinya kWh meter, sesuai dengan ketentuan dan regulasi yang berlaku.

5. Pemantauan dan Evaluasi Terhadap Susut Energi

Kegiatan monitoring dan evaluasi terhadap beban pada jaringan distribusi tegangan menengah Penyulang Toba dilakukan guna mengetahui tingkat kehilangan energi (losses) yang terjadi. Data pemantauan diperoleh dari hasil pengukuran beban pada jaringan tersebut setiap dua jam sekali selama bulan Februari 2025. Sebagai acuan pembandingan, digunakan data kWh dari kWh meter pada sisi ekspor Gardu Induk (GI) yang menyuplai Penyulang Toba untuk mengetahui jumlah energi yang dihasilkan selama periode tersebut. Sementara itu, konsumsi energi oleh pelanggan dihitung dari total penggunaan listrik yang tercatat selama bulan Februari 2025. Berdasarkan perbandingan kedua data tersebut, dilakukan analisis untuk mengetahui besar susut energi yang terjadi di jaringan distribusi tegangan menengah Penyulang Toba.

BAB IV

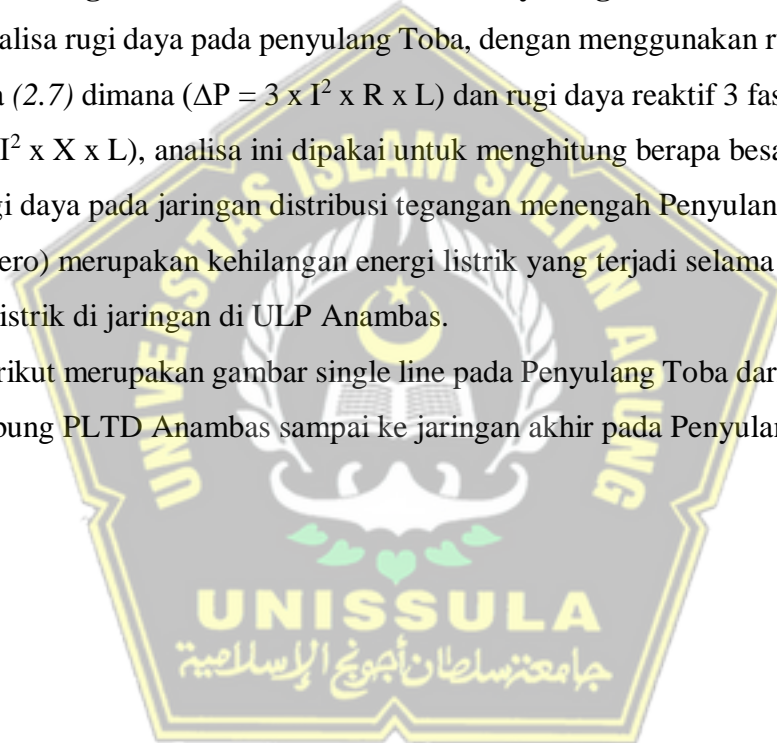
HASIL DAN PEMBAHASAN

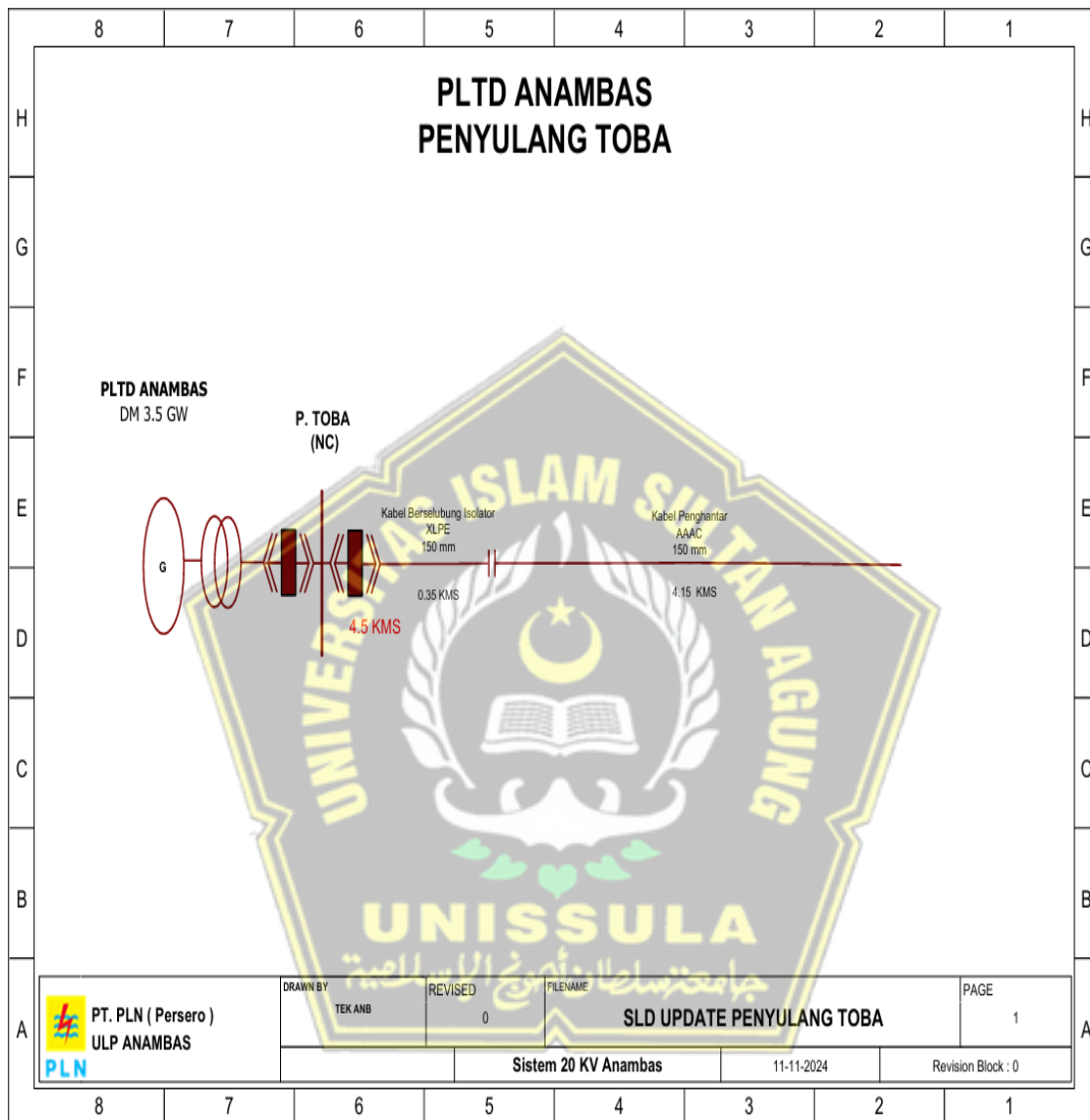
Analisis kerugian tegangan (*voltage drop*) dan kerugian daya (*power loss*) yang terjadi pada sistem distribusi menengah tegangan 20 kV pada Penyulang Toba. Kerugian ini dapat terjadi karena adanya hambatan pada penghantar, panjang jaringan, beban tidak seimbang, serta faktor-faktor eksternal lainnya. Evaluasi terhadap losses ini penting untuk menjamin efisiensi sistem dan kualitas daya listrik yang diterima oleh konsumen.

4.1 Perhitungan Pengukuran Susut Teknis JTM Penyulang Toba

Analisa rugi daya pada penyulang Toba, dengan menggunakan rumus rugi daya aktif 3 fasa (2.7) dimana ($\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L$) dan rugi daya reaktif 3 fasa (2.8) dimana ($\Delta Q = 3 \times I^2 \times X \times L$), analisa ini dipakai untuk menghitung berapa besar biaya listrik akibat Rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah Penyulang Toba di PT PLN (Persero) merupakan kehilangan energi listrik yang terjadi selama proses distribusi listrik di jaringan di ULP Anambas.

Berikut merupakan gambar single line pada Penyulang Toba dari awal existing Gardu Hubung PLTD Anambas sampai ke jaringan akhir pada Penyulang Toba.





Gambar 4.1 Single Line Diagram Penyulang Toba

4.2 Pengukuran Rugi Daya Berdasarkan Data Dari SPLN

Perhitungan rugi daya tiga fasa pada jaringan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rugi daya aktif tiga fasa, yaitu $\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L$, dan rumus rugi daya reaktif tiga fasa, yaitu $\Delta Q = 3 \times I^2 \times X \times L$. Pada penyulang Toba, terdapat beberapa jenis penghantar yang digunakan, yaitu kawat penghantar AAAC berukuran 150 mm² dan kabel penghantar XLPE berukuran 150 mm². Berdasarkan acuan dari SPLN tahun 1985, kawat penghantar AAAC 150 mm² memiliki nilai resistansi sebesar 0,225 Ohm per kilometer dan reaktansi sebesar 0,3305 Ohm per kilometer dengan panjang saluran sekitar 4,15 kilometer. Sementara itu, kabel penghantar XLPE 150 mm² memiliki resistansi sebesar 0,2060 Ohm per kilometer dan reaktansi sebesar 0,2650 Ohm per kilometer dengan panjang saluran sekitar 0,35 kilometer. Berikut ini akan disajikan contoh perhitungan rugi daya aktif untuk bulan Februari 2025 berdasarkan data dari SPLN.

$$\text{Tanggal (1) } \Delta P = (3 \times I^2 \times R \times L (\text{AAAC})) + (3 \times I^2 \times R \times L (\text{XLPE}))$$

$$= (3 \times 188^2 \times 0,225 \times 4,15) + (3 \times 188^2 \times 0,2060 \times 0,35)$$

$$= 99.007,38 \text{ W} + 7.644,91 \text{ W} = 106.652,29 \text{ W}$$

$$\text{Dijadikan KW} = 111.272,63 \text{ W} : 1000 = 106.65 \text{ KW}$$

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran kehilangan daya aktif (kW) pada penyulang Toba selama bulan Februari 2025 yang didasarkan pada data dari SPLN.

Tanggal	Rugi Daya Pada AAAC (W)	Rugi Daya Pada XLPE (W)	Jumlah Rugi Daya Aktif (KW)
1	99,007.38	7,644.91	106.65
2	101,110.93	7,807.33	108.92
3	101,387.87	7,828.72	109.22
4	100,187.02	7,735.99	107.92
5	103,197.16	7,968.42	111.17
6	99,939.95	7,716.92	107.66
7	104,397.83	8,061.13	112.46
8	104,408.65	8,061.97	112.47
9	105,174.39	8,121.10	113.30
10	102,996.54	7,952.93	110.95
11	97,730.05	7,546.28	105.28
12	105,290.22	8,130.04	113.42
13	99,587.53	7,689.70	107.28
14	105,482.20	8,144.86	113.63
15	104,408.65	8,061.97	112.47
16	103,843.37	8,018.32	111.86
17	103,713.97	8,008.33	111.72
18	101,394.97	7,829.27	109.22
19	105,290.22	8,130.04	113.42
20	101,636.72	7,847.93	109.48
21	104,397.83	8,061.13	112.46
22	107,345.78	8,288.76	115.63
23	101,682.97	7,851.50	109.53
24	99,834.16	7,708.75	107.54
25	101,249.35	7,818.02	109.07
26	103,197.16	7,968.42	111.17
27	99,939.95	7,716.92	107.66
28	104,397.83	8,061.13	112.46
Total Rugi Daya			3,094.00

Berikut adalah contoh perhitungan kerugian daya reaktif pada bulan Februari 2025 yang didasarkan pada data dari SPLN.

$$\begin{aligned}\text{Tanggal (1)} \quad \Delta Q &= (3 \times I^2 \times X \times L (\text{AAAC})) + (3 \times I^2 \times X \times L (\text{XLPE})) \\ &= (3 \times 188^2 \times 0,3305 \times 4,15) + (3 \times 188^2 \times 0,265 \times 0,35) \\ &= 145.430,84 \text{ VAR} + 9.834,46 \text{ VAR} = 155.045,15 \text{ VAR}\end{aligned}$$

$$\text{Dijadikan KVAR} = 155.045,15 : 1.000 = 155,05 \text{ KVAR}$$



Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Rugi Daya Reaktif (KVAR) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 berdasarkan data dari SPLN.

Tanggal	Rugi Daya Pada AAAC (W)	Rugi Daya Pada XLPE (W)	Jumlah Rugi Daya Reaktif (KVAR)
1	145,224.63	9,820.52	155.05
2	148,520.73	10,043.42	158.56
3	148,927.51	10,070.92	159.00
4	147,163.61	9,951.64	157.12
5	151,585.17	10,250.64	161.84
6	146,800.69	9,927.10	156.73
7	153,348.82	10,369.91	163.72
8	153,364.70	10,370.98	163.74
9	154,489.49	10,447.04	164.94
10	151,290.47	10,230.71	161.52
11	143,554.58	9,707.59	153.26
12	154,659.63	10,458.55	165.12
13	146,283.01	9,892.09	156.18
14	154,941.63	10,477.62	165.42
15	153,364.70	10,370.98	163.74
16	152,534.37	10,314.83	162.85
17	152,344.29	10,301.98	162.65
18	148,937.95	10,071.63	159.01
19	154,659.63	10,458.55	165.12
20	149,293.05	10,095.64	159.39
21	153,348.82	10,369.91	163.72
22	157,679.03	10,662.73	168.34
23	149,360.98	10,100.24	159.46
24	146,645.29	9,916.59	156.56
25	148,724.05	10,057.16	158.78
26	151,585.17	10,250.64	161.84
27	146,800.69	9,927.10	156.73
28	153,348.82	10,369.91	163.72
Total Rugi Daya			4,504.07

4.2.1 Pengukuran Rugi Energi Listrik per hari Pada Penyulang Toba

Penghitungan rugi energi listrik harian pada Penyulang Toba dapat dilakukan menggunakan rumus (2.9), yaitu $W = P \times t$. Berikut ini adalah contoh perhitungan rugi energi listrik untuk periode 24 jam pemakaian per hari selama bulan Februari 2025: Tanggal (1) = $W_{\text{losses}} = P \times t$

$$= 106.652 \times 24$$

$$= 2.559,65 \text{ kWh}$$



Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Rugi Daya Aktif (KW) dan Rugi Energi Listrik Per Hari (kWh) di Penyulang Toba pada bulan Februari tahun 2025.

Jumlah Rugi Daya Aktif (KW)	Waktu	Rugi Energi Listrik / Wlosses (kWh)
106.65	24	2,560
108.92	24	2,614
109.22	24	2,621
107.92	24	2,590
111.17	24	2,668
107.66	24	2,584
112.46	24	2,699
112.47	24	2,699
113.30	24	2,719
110.95	24	2,663
105.28	24	2,527
113.42	24	2,722
107.28	24	2,575
113.63	24	2,727
112.47	24	2,699
111.86	24	2,685
111.72	24	2,681
109.22	24	2,621
113.42	24	2,722
109.48	24	2,628
112.46	24	2,699
115.63	24	2,775
109.53	24	2,629
107.54	24	2,581
109.07	24	2,618
111.17	24	2,668
107.66	24	2,584
112.46	24	2,699
Total Rugi Daya		74,256

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa rugi daya aktif yang terjadi pada Penyulang Toba cukup signifikan. Rugi daya tertinggi terjadi pada tanggal 22 dengan nilai sebesar 115.635 KW, sementara rugi daya terendah tercatat pada tanggal 11 dengan nilai 105.276 KW. Sedangkan untuk rugi energi listrik harian, nilai tertinggi terjadi pada tanggal 22 dengan sebesar 2.775,22 kWh, dan yang terendah pada tanggal 11 sebesar 2.526,63 kWh. Total rugi energi listrik sepanjang bulan Februari mencapai 74.256,27 kWh.

Rugi daya ini menggambarkan bahwa selama proses distribusi listrik dari PLTD ke Penyulang Toba, tidak semua daya yang dikirim sampai ke konsumen karena ada kehilangan daya yang terjadi, yang utamanya disebabkan oleh resistansi pada konduktor atau penghantar listrik.

Data dalam Tabel 4.3 juga memperlihatkan bahwa daya yang tidak terjual cukup besar, dan rugi daya ini berdampak pada kerugian finansial bagi PT PLN (Persero) sebagai penyedia listrik. Apabila rugi daya ini dihitung berdasarkan tarif listrik rata-rata yang tertera pada Tabel 4.4 untuk bulan Februari 2025, maka kerugian yang dialami oleh perusahaan dapat diketahui secara lebih jelas.4.4.

Tabel 4.4 Tarif Tenaga Listrik (TTL)

Tarif Listrik Untuk Semua Golongan Tahun 2025		
Tarif	Daya	Rp/kWh
Rumah Tangga	900 VA	1.352,00
Rumah Tangga	1.300 VA - 2.200 VA	1.444,70
Bisnis	6.600 VA - 197 KVA	1.444,70
Rumah Tangga	3.500 VA- 11.000 VA	1.699,53
Bisnis & Industri	197 KVA ke atas	1.035,78
Industri	30.000 KVA ke atas	996,74
Rata-rata Tarif		1.328,90

Tabel 4.4 memperlihatkan nilai rata-rata tarif tenaga listrik untuk bulan Februari 2025. Berdasarkan tarif rata-rata tersebut, dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan besarnya biaya atau kerugian yang ditanggung oleh PT PLN (Persero) akibat rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah Penyulang Toba yang dialirkan ke konsumen atau pemakai listrik.

4.3 Perhitungan Biaya Energi Listrik Yang Tidak Terjual Dalam Satuan Rupiah.

Energi listrik yang tidak terjual dalam satuan rupiah, dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.10) : Biaya Listrik = Rugi energi listrik (kWh) x Tarif Tenaga Listrik (Rp). Berikut ini adalah contoh perhitungan biaya listrik per hari dengan rata-rata tarif tenaga listrik Rp 1.328,90 /kWh pada bulan Februari 2025 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tanggal (1)} \quad \text{Biaya Listrik} &= \text{Rugi energi listrik (kWh)} \times \text{Tarif Tenaga Listrik} \\ &= 2.559,65 \times 1.328,90 \\ \text{Rp} &= 3.401.518,88\end{aligned}$$

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran energi listrik yang tidak terjual dalam satuan rupiah dengan rata-rata tarif tenaga listrik Rp 1.328,90 / kWh, di Penyulang Toba pada bulan Februari 2025.

Tanggal	Rugi Energi Listrik / Wlosses (kWh)	Total
1	2,560	3,401,524
2	2,614	3,473,795
3	2,621	3,483,310
4	2,590	3,442,053
5	2,668	3,545,471
6	2,584	3,433,564
7	2,699	3,586,721
8	2,699	3,587,092
9	2,719	3,613,400
10	2,663	3,538,578
11	2,527	3,357,640
12	2,722	3,617,380
13	2,575	3,421,456
14	2,727	3,623,975
15	2,699	3,587,092
16	2,685	3,567,671
17	2,681	3,563,226
18	2,621	3,483,553
19	2,722	3,617,380
20	2,628	3,491,859
21	2,699	3,586,721
22	2,775	3,688,002
23	2,629	3,493,448
24	2,581	3,429,929
25	2,618	3,478,550
26	2,668	3,545,471
27	2,584	3,433,564
28	2,699	3,586,721
Total	74,256	98,679,147



Tabel 4.6 hasil total Rupiah pada masing-masing tarif pelanggan

Tarif	Pelanggan	Presentase %	Jumlah kWh	Rupiah
B	75	3.4	2,516.58	3,635,708.65
P	24	1.1	805.31	1,368,643.11
R	2067	93.4	69,357.05	103,948,185.35
S	47	2.1	1,577.06	1,198,564.99

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa rugi energi listrik pada saat proses pengiriman dari gardu induk PLTD Anambas sampai ke beban atau konsumen selama satu bulan (28 hari) pada bulan Februari 2025 sebesar 74.256 kWh. Rugi energi listrik pada jaringan distribusi tegangan menengah, menyebabkan kerugian biaya energi listrik. Kerugian biaya energi listrik dapat diketahui dari hilangnya energi listrik yang dikalikan dengan biaya listrik per kWh, sehingga diperoleh kerugian biaya energi listrik PT.PLN (Persero). Kerugian biaya energi listrik terbesar atau tertinggi terjadi pada tanggal 22 dengan rugi biaya energi listrik sebesar Rp 3.688.002,00 sedangkan kerugian biaya energi listrik terendah atau terkecil terjadi pada tanggal 11 dengan rugi biaya energi listrik sebesar Rp 3.357.640,00 Total kerugian biaya energi listrik yang tidak terjual selama bulan Februari 2025 (28 hari) mencapai sekitar Rp 98.679.147,00.

Sedangkan jika dihitung untuk masing-masing tarif pelanggan pada Penyulang Toba didapat perhitungan sesuai Tabel 4.6 yaitu tarif B dengan jumlah pelanggan 75 dengan rupiah sebesar Rp. 3.635.708,65, tarif P 24 pelanggan dengan total Rp. 1.368.643,11, tarif R jumlah pelanggan 2.067 dengan Rupiah sebesar Rp. 103.948.185,35 dan untuk tarif S 47 pelanggan dengan total Rp. 1.198564,99.

Rugi daya listrik memang tidak bisa dihilangkan sepenuhnya, namun bisa dikurangi atau diminimalkan dengan cara menurunkan tahanan atau hambatan pada konduktor. Salah satu caranya adalah dengan memperbesar luas penampang konduktor atau penghantar yang digunakan. Contohnya seperti pada penyulang Toba, penerapan konduktor dengan penampang lebih besar dapat membantu mengurangi rugi daya yang terjadi yaitu menggunakan ukuran konduktor atau penghantar dengan luas penampang sebesar 150 mm² sebaiknya diganti dengan ukuran konduktor atau penghantar dengan

luas penampang sebesar 240 mm², dan memperbesar faktor daya beban dapat dilakukan dengan memasang kapasitor kompensasi (shunt capasitor).

4.4 Perhitungan kWh Produksi Penyulang Toba

Hasil perhitungan KWH Produksi di dapat dari pencatatan stan pada kWh Meter pada Penyulang Toba, dari mulai stan akhir pada bulan januari dan stan akhir pada bulan februari. Dan dihitung berapa produksi kWh sesuai dengan perhitungan berikut.

Tabel 4.6 Total kWh Produksi pada Penyulang Toba

KWH PRODUKSI PENYULANG TOBA					
FOTO 31 JANUARI	STAND AWAL	FOTO 28 FEBRUARI	STAND AKHIR	FAKTOR KALI	JUMLAH
	204.92		230.04	16000	401.920

Pada tanggal 31 Januari 2025 angka stan pada kWh Meter 204.92, dan untuk stan akhir pada tanggal 28 Februari 2025 angka stan pada kWh Meter 230.04. untuk selisih stan 25.12 dikali dengan faktor kali 1.600 angka stan produksi akhir menjadi 401.920 kWh untuk bulan Februari 2025.

4.5 Perhitungan kWh Jual Pelanggan pada Penyulang Toba

Hasil perhitungan kWh Jual di dapat dari jumlah penjualan pada kWh Meter Paska dan Prabayar pada Penyulang Toba selama awal bulan februari sampai dengan akhir bulan Dan dihitung total berapa kWh jual pada bulan februari sesuai dengan perhitungan berikut.

Tabel 4.7 Total kWh jual pada Penyulang Toba

KWH JUAL BULAN FEBRUARI 2025		
	JUMLAH PELANGGAN	JUMLAH KWH
PASKABAYAR	405	117,627
PRABAYAR	1,808	227,519
TOTAL	2,213	345,146

Dari tabel 4.7 kita dapat ketahuai berapa jumlah pelanggan dan berapa total kWh jual yang di peroleh pada bulan Februari 2025, untuk pelanggan pada Penyulang Toba mempunyai total pelanggan 2.213 terdiri dari 405 pelanggan Pascabayar dengan total 117,627 kWh, dan 1.808 pelanggan Prabayar dengan total 227.519 kWh. Jadi untuk total kWh jual pada bulan Februari 2025 sebesar 345.146 kWh pada Penyulang Toba.

4.6 Perhitungan tagihan susulan (Kelainan pada kWh Meter) pada pelanggan di Penyulang Toba.

Berikut merupakan realisasi dari kWh yang mengalami kelainan, dari awal bulan februari sampai akhir bulan februari tahun 2025. berikut terlampir terdapat pada tabel:

Tabel 4.8 Realisasi tagihan susulan pada Penyulang Toba

DAFTAR REALISASI PENDAPATAN PENETAPAN TAGIHAN SUSULAN (TUNAI DAN ANGSURAN) BULAN FEBRUARI TAHUN 2025								
IDPEL	NAMA	GO L	ALAMAT	TA RI F/ DA YA	TAGIHAN SUSULAN			
					KW H	BEB AN	KW H	TS
183073652 259	NURHAMI M	K2	JL PELABUHAN	R1/45 0	373	0	184,63 5	184,63 5
183073656 304	SURAU AL- JANNAH	K2	JL TANJUNG BUTON	S1T/9 00	462	0	210,21 0	210,21 0
183073706 427	A HASYIM	K2	JL LORONG FAJAR DB	R1T/4 50	418	0	173,47 0	173,47 0
183073804 717	PAUD	K2	DN DESA SUAK BUAY	S1T/9 00	438	0	199,29 0	199,29 0
183070038 802	RUSTAM. A	K2	JL BUKIT KABUNG	R1/90 0	562	0	278,19 0	278,19 0
183073719 870	SMAN 4 SENAYAN G	K2	DS TAJUR BIRU TEMIA	S1T/2 200	591	0	449,16 0	449,16 0
NONPEL ANG	TABLIGH AKBAR SYA'	P4	TELKOM SETAJAM	S1/900	4,957	243,00	1,784,5 0	2,027,5 92
NONPEL ANG	MENG HUE	P4	JL SEKOP LAUT	B1/90 0	4,957	429,30	2,305,0 0	2,734,3 98
NONPEL ANG	STQ KE VI DESA TINJ	P4	DS TINJUL	S1/450	2,479	81,000	892,29 6	973,29 6
NONPEL ANG	MUSORKA B LINGGA 2	P4	JL PAHLAWAN	S1/450	2,479	81,000	892,29 6	973,29 6
183070014 138	SURAU GERGAS	K2	JL GARUDA	S1/900	450	0	162,00 0	162,00 0
183073716 243	ZULKIFLI	K2	JL KAMPUNG BOYAN	R1MT /90	255	0	344,76 0	344,76 0
183073659	RATIH	K2	JL SAWAH	R2T/3	634	0	1,077,5	1,077,5

852	DESMIVID ELSA		INDAH	500			02	02
TOTAL					19,050	834,308,953,49,787,7	0	99

Dari tabel 4.8 kita dapat ketahui berapa jumlah tagihan kWh susulan pada bulan Februari 2025, untuk pelanggan pada Penyulang Toba mempunyai total 19.050 kWh, dengan nilai Rp. 9.787.799,00 .

4.7 Perhitungan Susut Energi pada Penyulang Toba ketika luas penampang diubah ke 240 mm².

Berikut analisa apabila luas penampang pada Penyulang Toba yang awal nya 150 mm² diubah menjadi 240 mm² . Rugi daya 3 fasa pada jaringan dapat dihitung menggunakan rumus rugi daya aktif 3 fasa (2.7), yaitu $\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L$, dan untuk rugi daya reaktif 3 fasa (2.8), yaitu $\Delta Q = 3 \times I^2 \times X \times L$. Pada Penyulang Toba, terdapat beberapa jenis penghantar yang digunakan, yaitu kawat penghantar (konduktor) AAAC dengan penampang 240 mm² dan kabel penghantar (konduktor) XLPE dengan penampang 240 mm². Berdasarkan acuan SPLN 64 tahun 1985, kawat penghantar AAAC 240 mm² memiliki nilai resistansi sebesar 0,1344 Ohm/km dan nilai reaktansi

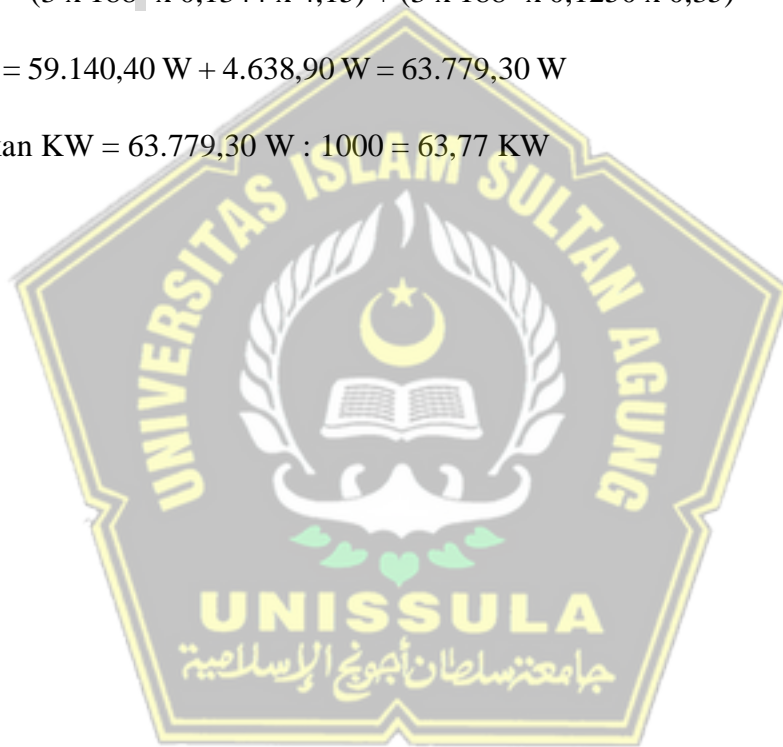
sebesar 0,3158 Ohm/km dengan panjang saluran 4,15 km. Sedangkan kabel penghantar XLPE 240 mm² memiliki resistansi 0,125 Ohm/km dan reaktansi 0,382 Ohm/km dengan panjang saluran 0,35 km. Berikut ini disajikan contoh perhitungan rugi daya aktif pada bulan Februari 2025 berdasarkan data SPLN. Berikut ini adalah contoh perhitungan rugi daya aktif pada bulan Februari tahun 2025 berdasarkan data dari SPLN.

$$\text{Tanggal (1) } \Delta P = (3 \times I^2 \times R \times L (\text{AAAC})) + (3 \times I^2 \times R \times L (\text{XLPE}))$$

$$= (3 \times 188^2 \times 0,1344 \times 4,15) + (3 \times 188^2 \times 0,1250 \times 0,35)$$

$$= 59.140,40 \text{ W} + 4.638,90 \text{ W} = 63.779,30 \text{ W}$$

$$\text{Dijadikan KW} = 63.779,30 \text{ W} : 1000 = 63,77 \text{ KW}$$



Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Rugi Daya Aktif (KW) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 menggunakan kabel penghantar 240 mm² berdasarkan data dari SPLN.

Tanggal	Rugi Daya Pada AAAC (W)	Rugi Daya Pada XLPE (W)	Jumlah Rugi Daya Aktif (KW)
1	59,140.41	4,638.90	63,779
2	60,396.93	4,737.46	65,134
3	60,562.35	4,750.44	65,313
4	59,845.05	4,694.17	64,539
5	61,643.11	4,835.21	66,478
6	59,697.47	4,682.59	64,380
7	62,360.31	4,891.46	67,252
8	62,366.77	4,891.97	67,259
9	62,824.17	4,927.85	67,752
10	61,523.26	4,825.81	66,349
11	58,377.42	4,579.05	62,956
12	62,893.36	4,933.28	67,827
13	59,486.95	4,666.08	64,153
14	63,008.03	4,942.27	67,950
15	62,366.77	4,891.97	67,259
16	62,029.11	4,865.49	66,895
17	61,951.81	4,859.42	66,811
18	60,566.60	4,750.77	65,317
19	62,893.36	4,933.28	67,827
20	60,711.00	4,762.10	65,473
21	62,360.31	4,891.46	67,252
22	64,121.21	5,029.59	69,151
23	60,738.63	4,764.26	65,503
24	59,634.27	4,677.64	64,312
25	60,479.61	4,743.95	65,224
26	61,643.11	4,835.21	66,478
27	59,697.47	4,682.59	64,380
28	62,360.31	4,891.46	67,252
Total Rugi Daya			1,850,255

Berikut merupakan contoh perhitungan rugi daya reaktif pada bulan Februari 2025 menggunakan kabel penghantar berukuran 240 mm² dengan data yang diambil dari SPLN.

$$\begin{aligned}\text{Tanggal (1)} \quad \Delta Q &= (3 \times I^2 \times X \times L \text{ (AAAC)}) + (3 \times I^2 \times X \times L \text{ (XLPE)}) \\ &= (3 \times 188^2 \times 0,3158 \times 4,15) + (3 \times 188^2 \times 0,382 \times 0,35) \\ &= 138.962,35 \text{ VAR} + 14.176,47 \text{ VAR} = 153.138,82 \text{ VAR}\end{aligned}$$

$$\text{Dijadikan KVAR} = 153.138,82 : 1.000 = 153,13 \text{ KVAR}$$



Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Rugi Daya Reaktif (KVAR) Pada Penyulang Toba Bulan Februari Tahun 2025 menggunakan kabel penghantar 240 mm² berdasarkan data dari SPLN.

Tanggal	Rugi Daya Pada AAAC (W)	Rugi Daya Pada XLPE (W)	Jumlah Rugi Daya Reaktif (KVAR)
1	138,765.32	14,156.38	152.92
2	141,914.81	14,477.68	156.39
3	142,303.50	14,517.33	156.82
4	140,618.05	14,345.39	154.96
5	144,842.95	14,776.40	159.62
6	140,271.28	14,310.01	154.58
7	146,528.16	14,948.32	161.48
8	146,543.34	14,949.86	161.49
9	147,618.10	15,059.51	162.68
10	144,561.36	14,747.67	159.31
11	137,169.55	13,993.58	151.16
12	147,780.67	15,076.09	162.86
13	139,776.63	14,259.55	154.04
14	148,050.12	15,103.58	163.15
15	146,543.34	14,949.86	161.49
16	145,749.94	14,868.92	160.62
17	145,568.31	14,850.40	160.42
18	142,313.48	14,518.35	156.83
19	147,780.67	15,076.09	162.86
20	142,652.78	14,552.96	157.21
21	146,528.16	14,948.32	161.48
22	150,665.77	15,370.42	166.04
23	142,717.69	14,559.59	157.28
24	140,122.79	14,294.86	154.42
25	142,109.09	14,497.50	156.61
26	144,842.95	14,776.40	159.62
27	140,271.28	14,310.01	154.58
28	146,528.16	14,948.32	161.48
TOTAL			4,442.38

4.8 Perhitungan Rugi Energi Listrik per hari Pada Penyulang Toba

Perhitungan rugi energi listrik harian pada Penyulang Toba dapat dilakukan dengan rumus: $W = P \times t$. Berikut ini adalah contoh perhitungan rugi energi listrik per hari untuk bulan Februari 2025, dengan waktu pemakaian selama 24 jam per hari, menggunakan kabel penghantar berukuran 240 mm²:

$$\text{Tanggal (1)} = W_{\text{losses}} = P \times t$$

$$= 63.779 \times 24$$

$$= 1,530,70 \text{ kWh}$$



Tabel 4.11 memperlihatkan hasil pengukuran rugi daya aktif (dalam kW) dan rugi energi listrik per hari (dalam kWh) pada Penyulang Toba selama bulan Februari 2025, dengan menggunakan kabel penghantar berpenampang 240 mm².

Jumlah Rugi Daya Aktif (KW)	Waktu	Rugi Energi Listrik / Wlosses (kWh)
63,779	24	1,530,703
65,134	24	1,563,225
65,313	24	1,567,507
64,539	24	1,548,941
66,478	24	1,595,480
64,380	24	1,545,121
67,252	24	1,614,042
67,259	24	1,614,210
67,752	24	1,626,048
66,349	24	1,592,378
62,956	24	1,510,955
67,827	24	1,627,839
64,153	24	1,539,673
67,950	24	1,630,807
67,259	24	1,614,210
66,895	24	1,605,470
66,811	24	1,603,470
65,317	24	1,567,617
67,827	24	1,627,839
65,473	24	1,571,354
67,252	24	1,614,042
69,151	24	1,659,619
65,503	24	1,572,069
64,312	24	1,543,486
65,224	24	1,565,365
66,478	24	1,595,480
64,380	24	1,545,121
67,252	24	1,614,042
Total Rugi Daya		44,406,116

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa rugi daya aktif yang terjadi di Penyulang Toba ketika menggunakan kabel penghantar 240 mm^2 , rugi daya atau kehilangan daya sebesar 44.406,11 kWh. Rugi daya yang hilang ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan rugi daya yang menggunakan penghantar kabel 150 mm^2 , yang memiliki total rugi energi listrik sebesar 74.256,27 kWh. Kehilangan daya yang timbul pada sistem distribusi listrik tegangan menengah merupakan hasil dari energi yang berubah menjadi panas akibat adanya hambatan dalam penghantar selama proses penyaluran energi dari sumber ke beban ini menunjukkan bahwa pada proses penyaluran daya listrik ini, daya yang dikirimkan dari PLTD ke Penyulang Toba beban penyulang disebabkan karena tahanan atau resistansi dalam penghantar atau konduktor. Setelah dilakukan perhitungan dengan mengubah luas kabel penghantar menjadi 240 mm^2 maka susut energi berkurang sebesar 29.850,16 kWh merupakan selisih antara perhitungan dalam jangka waktu sebulan, dengan ini Pembuktian bahwa luas penampang kabel penghantar memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya susut energi pada jaringan distribusi tegangan menengah di Penyulang Toba dapat dilakukan melalui perbandingan perhitungan rugi daya aktif dan rugi energi harian pada dua jenis kabel dengan penampang berbeda. Semakin besar luas penampang konduktor yang digunakan, semakin kecil nilai resistansi yang dimiliki, sehingga rugi daya akibat tahanan penghantar dapat ditekan secara signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Susut energi pada pelanggan akibat panjang rugi-rugi penghantar Penyulang Toba bulan Februari 2025 sebesar 74.256,27 kWh. Dihitung dari beban pada jaringan tegangan menengah selama awal bulan februari s/d akhir bulan februari. Untuk menekan angka susut pada jaringan dapat dilakukan penggantian kawat penghantar yang semula 150 mm² menjadi 240 mm² dan didapatkan hasil dari perhitungan susut pada jaringan sebesar 44.406.11 kWh.
2. Dari hasil perhitungan rugi daya menggunakan Formula Jogja, diketahui bahwa kerugian biaya akibat susut energi pada kawat penghantar Penyulang Toba rata-rata sebesar Rp 98.679.147,00. Sedangkan jika dihitung untuk masing-masing tarif pelanggan pada Penyulang Toba didapat perhitungan sesuai *Tabel 4.6* yaitu tarif B dengan jumlah pelanggan 75 dengan rupiah sebesar Rp. 3.635.708,65, tarif P 24 pelanggan dengan total Rp. 1.368.643,11, tarif R jumlah pelanggan 2.067 dengan Rupiah sebesar Rp. 103.948.185,35 dan untuk tarif S 47 pelanggan dengan total Rp. 1.198564,99. dan angka kerugian itu dapat dikurangi apabila dilakukan penggantian kawat penghantar ke ukuran 240 mm² sehingga jumlah kerugian rupiah susut pada jaringan menjadi Rp 59.011.279,00 .
3. Besar perbandingan susut energi terukur pada Penyulang Toba sebesar 37.724 kWh diperoleh dari Total kWh Produksi Penyulang Toba dikurangi Total kWh Jual + K2 (Kelainan pada kWh Meter), sedangkan dengan susut energi menggunakan formula jogja secara perhitungan di Penyulang Toba sebesar 74.256 kWh.

4. Jadi total susut energi pada Penyulang Toba di ULP Anambas sebesar 36.532 kWh, diperoleh dari selisih susut energi secara perhitungan dikurang dengan susut energi dari selisih total kWh produksi dikurang total kWh jual pada Penyulang Toba.
5. Setelah dilakukan perhitungan dengan mengubah luas kabel penghantar menjadi 240 mm² maka susut energi berkurang sebesar 29.850,16 kWh merupakan selisih antara perhitungan dalam jangka waktu sebulan, dengan ini membuktikan bahwa luas penampang kabel penghantar mempunyai peran yang besar terdapat kehilangan energi pada sistem distribusi tegangan menengah di Penyulang Toba.

5.2 Saran

1. Untuk memperkecil Susut Energi pada Penyulang Toba dapat dilakukan penggantian luas penampang kabel yang awal nya 150 mm², menjadi Kabel dengan luas penampang 240 mm².
2. Pada Penyulang Toba memperkecil susut energi dapat juga dengan cara memperbesar faktor daya beban dapat dilakukan dengan memasang kapasitor kompensasi (shunt capasitor)
3. Melakukan penelitian selama 1 tahun dan ruang lingkup ditambah dengan perhitungan susut pada Penyulang Toba

Daftar Pustaka

- Agustina, E. (2016) 'Penurunan Susut Non Teknis Pada Jaringan Distribusi Menggunakan Sistem Automatic Meter Reading Di PT. PLN (Persero)', *Teknik Mesin*, 05(2), pp. 39–55.
- Alfama Zamista, A. and Musri, M. (2019) 'PROSES PENANGANAN TIANG LISTRIK AMBLAS Studi Kasus: Kelurahan Ratu Sima – Dumai Barat', *Juti Unisi*, 3(2), pp. 32–36. Available at: <https://doi.org/10.32520/juti.v3i2.841>.
- Aziz, N.M., Tarigan, A.P. and Rahmaniar, R. (2025) 'Analisis Pengaruh Migrasi kWh Meter Pascabayar Menjadi Prabayar Terhadap Susut Non Teknis pada PT PLN (Persero) ULP Kota Fajar', *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(2), pp. 1675–1678. Available at: <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i2.42846>.
- Damara, D.B.O. and Yasa, I.N.M. (2019) 'Analisis Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Energi Listrik Di Provinsi Bali', *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana*, 8(1), pp. 211–238.
- Firdaus, M.I., Aknuranda, I. and Setiawan, N.Y. (2021) 'Evaluasi dan Perbaikan Proses Bisnis Pembacaan Meter Pascabayar di PT PLN (Persero) UP3 Malang', *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(12), pp. 5505–5513.
- Latupeirissa, H.L., Muskita, H.M. and Tahalele, T.J. (2020) 'Analisa Susut Daya Pada Sistem Distribusi Jaringan Tegangan Menengah', *Jurnal Simetrik*, 10(1), pp. 313–321. Available at: <https://doi.org/10.31959/js.v10i1.242>.
- Muhamad Idris Ardiansyah, Zuraidah Tharo, P.S. (2025) 'Analisis peremajaan kwh meter prabayar terhadap keandalan sistem tenaga listrik 1,2,3', *Jurnal nasional Teknologi Komputer*, 5(3), pp. 55–62.
- PT PLN (PERSERO) (no date) *Keputusan Direksi PT PLN (Persero) 217-1.K 2005*.

- Putri, A.T., Jumnahdi, M. and Gusa, R.F. (2017) 'Analisis Susut Energi Non Teknis pada Jaringan Distribusi Plnrayon Koba', *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, 7, pp. 99–103.
- Samhati, S., Hidayat, A. and Makhroja, M.N. (2023) 'Kerjasama Bilateral Indonesia dan Denmark dalam Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Studi Kasus: Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu untuk Keberlanjutan Energi di Sulawesi Selatan)', *Indonesian Journal of Global Discourse*, 5(1), pp. 90–109. Available at: <https://doi.org/10.29303/ijgd.v5i1.83>.
- Suliyanti, W.N. *et al.* (2022) 'Fuzzy C-Means Dalam Klasifikasi Histori Data Susut Daya Pelanggan AMR Tidak Wajar Pada PT. PLN Distribusi Jakarta Raya', *Petir*, 15(1), pp. 157–165. Available at: <https://doi.org/10.33322/petir.v15i1.1460>.
- Surusa, F. *et al.* (2024) 'Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo', *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(1), pp. 32–38. Available at: <https://doi.org/10.37905/jjee.v6i1.22380>.
- Syukri, S., Muliadi, M. and Akbar, A. (2024) 'Analisa Perhitungan Susut Teknis Di Pt. Pln (Persero) Rayon Singkil', *Elektrika*, 16(1), p. 20. Available at: <https://doi.org/10.26623/elektrika.v16i1.8854>.
- Tharo, Z. *et al.* (2021) 'Analisis Perbandingan Kinerja Kwh Meter Prabayar Dan Pascabayar', *Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, 2(1), pp. 358–365.
- Yolansyah, M.S. (2018) 'Kajian Ekonomis Kerugian Listrik PLN Akibat Pencuriandengan Metode Merubah MCB dan Menambahkan Jarum pada Piringan kWh Meter', *Skripsi Universitas Brawijaya* [Preprint].
- Yuntyansyah, P.A., Wibawa, U. and Utomo, T. (2015) 'Studi Perkiraan Susut Teknis dan Alternatif Perbaikan Pada Penyulang Kayoman Gardu Induk Sukorejo', *Program Studi Teknik Elektro, Universitas Brawijaya*, pp. 1–8.