



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN ALTERNATIF  
PERBAIKAN PADA PENYULANG LECI  
DI GARDU INDUK JABABEKA**

**SKRIPSI**

**ABDUL MUCHYI**

**07 06 19 8921**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN ALTERNATIF  
PERBAIKAN PADA PENYULANG LECI  
DI GARDU INDUK JABABEKA**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**ABDUL MUCHYI**

**07 06 19 8921**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Abdul Muchyi

NPM : 0706198921

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Juni 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Abdul Muchyi  
NPM : 0706198921  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Studi Perkiraan Susut Energi dan Alternatif  
Perbaikan Pada Penyulang Leci di Gardu Induk  
Jababeka

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo, MT (.....)

Penguji : Ir. Agus R. Utomo, MT (.....)

Penguji : Ir. I Made Ardita Y, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2009

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Amien Rahardjo, MT, selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik;
- (2) Zenal Muttaqin, BE, selaku manajer UPJ Prima Bekasi yang telah meluangkan waktu memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 29 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdul Muchyi  
NPM : 07 06 19 8921  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN ALTERNATIF  
PERBAIKAN PADA PENYULANG LECI DI GARDU INDUK  
JABABEKA**

beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Juni 2009

Yang menyatakan

( Abdul Muchyi)

## ABSTRAK

Nama : Abdul Muchyi  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN ALTERNATIF  
PERBAIKAN PADA PENYULANG LECI DI GARDU INDUK  
JABABEKA

Skripsi ini membahas tentang rugi-rugi energi (*losses*) pada penyulang Leci di gardu induk Jababeka bus 150/20 kV. Penulis dalam skripsi ini berkeinginan membahas tentang sebab-sebab terjadinya *losses* pada penyulang Leci di gardu induk Jababeka, dan mengkalkulasi akibat dari *losses* tersebut, dalam hal ini penulis mengevaluasi biaya kerugian selama tahun 2009 dan membuat evaluasi biaya kerugian pada Perusahaan Listrik Negara ( PLN) tahun 2009. setelah itu, penulis akan membuat alternative perbaikan bagaimana cara menekan kerugian dan membuat evaluasi biaya kerugian dari solusi tersebut. Dan Penulis akan merekomendasikan solusi tersebut ke PLN.

Kata Kunci :  
Losses, Penyulang, Alternatif Perbaikan

## ABSTRACT

Name : Abdul Muchyi  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : ANALYSIS OF THE LOSSES ENERGY ESTIMATION AND  
ALTERNATIVE REPAIR AT LECI DISTRIBUTION LINE  
IN JABABEKA POWER STATION

This script is discuss about Losses at Leci Distribution Line from 150/20 kV bus Jababeka power station. The writer in this end task have analyze about the causes of Losses at this Leci Distribution Line, and calculate the annual value of losses, in this case, the writer have been calculate the annual value in 2009. and make cost evaluation of money losses of Perusahaan Listrik Negara (PLN) Company in 2009. after that, the writer will make alternative repair how to press the Losses and make make cost evaluation of money losses of this solution. And the Writer will recommend this solution to PLN Company for this case.

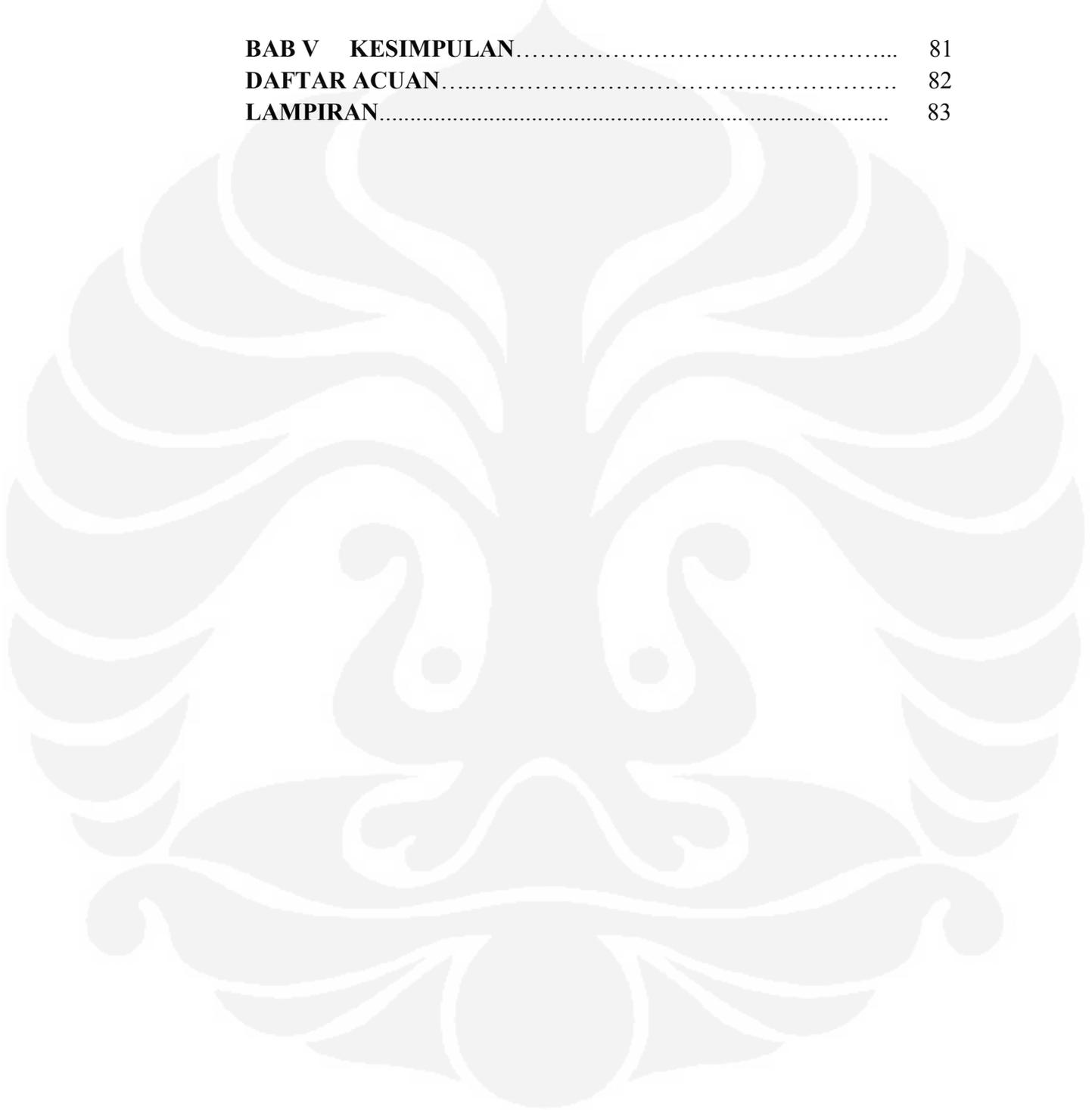
Key Words :  
Losses, Distribution Line, Alternative Repair,

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.. .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penulisan .....	3
1.5 Metodologi Penulisan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah.....	5
2.2 Penghantar .....	11
2.2.1 Jenis Penghantar .....	11
2.2.2 Kabel Tanah.....	12
2.2.3 Penentuan Pemakaian Kabel .....	13
2.3 Terminasi.....	15
2.3.1 Jenis dan Karakteristik Sambungan Kabel, Terminal Kabel serta Terminasi Kabel.....	16
2.4 Daya Listrik .....	19
2.4.1 Daya Aktif.....	20
2.4.2 Daya Reaktif.....	20
2.4.3 Daya Nyata .....	20
2.5 Faktor Kerja .....	21
2.6 Susut Energi Pada Jaringan Distribusi Primer .....	22
2.6.1 Susut Energi Teknis.....	22
2.6.2 Susut Energi Non Teknis .....	26

2.7	Perhitungan Susut Energi.....	27
2.7.1	Jenis Penghantar .....	26
2.7.2	Transformator Daya .....	28
2.8	Evaluasi Biaya Pada Saluran Distribusi .....	28
2.8.1	<i>Annual Equivalent of Investment Cost (AIC)</i> ....	29
2.8.2	<i>Annual Equivalent of Energy Cost (AEC)</i> .....	29
2.8.3	Faktor Lokasi Beban .....	29
2.8.4	Faktor Beban .....	30
2.8.5	Faktor Losses.....	31
2.9	<i>Forecasting</i> .....	31
2.9.1	<i>Forecasting dengan Smoothing</i> .....	31
2.10	<i>Automatic Meter Ready</i> .....	32
<b>BAB III</b>	<b>DATA PERHITUNGAN DAN ANALISIS .....</b>	<b>36</b>
3.1	Spesifikasi objek studi .....	36
3.1.1	Penyulang Leci .....	36
3.1.2	PT. Multistrada Arah Sarana .....	39
3.1.3	Penghantar .....	40
3.1.4	Konektor.....	41
3.1.5	Transformator Distribusi .....	41
3.2	Perhitungan Susut Energi.....	41
3.2.1	Susut Energi Total Per-bulan.....	41
3.2.2	Susut Energi pada Penghantar .....	45
3.2.3	Susut Energi Lain.....	53
3.3	Analisis Data dan Perhitungan Susut Energi .....	57
3.3.1	Analisa Data .....	57
3.3.2	Analisa Perhitungan.....	59
<b>BAB IV</b>	<b>ALTERNATIF PERBAIKAN DAN EVALUASI.....</b>	<b>62</b>
4.1	Alternatif Perbaikan .....	62
4.1.1	Skenario 1 : Penurunan Susut Energi Penghantar dan Penurunan Susut Energi Lain.....	62
4.1.2	Skenario 2 : Penurunan Nilai Resistansi Penghantar dan Penurunan Susut Energi Lain.....	69
4.2	Evaluasi Biaya .....	73
4.2.1	Perkiraan Jumlah Kerugian PLN Tahun 2009 dalam Rupiah .....	73
4.2.2	Perkiraan Jumlah Kerugian PLN Tahun 2009 Setelah Melakukan Skenario 1 dan Perbandingannya dengan Nilai Sebelumnya dalam Nilai Rupiah.....	74
4.2.3	Perkiraan Jumlah Kerugian PLN Tahun 2009 Setelah Melakukan Skenario 2 dan Perbandingannya	

Dengan Nilai Sebelumnya dalam Nilai Rupiah ....	75
4.2.4 Perkiraan Jumlah Biaya Yang diperlukan PLN Untuk Melakukan Skenario 1 dan Perbandingan Nilai Investasi PLN.....	76
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>81</b>
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>83</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan antara aluminium dan tembaga.....	11
Tabel 2.2 Nilai resistansi kabel .....	15
Tabel 2.3 Jenis dan karakteristik terminasi kabel .....	16
Tabel 2.4 Sambungan <i>straight-trought joint</i> dan <i>bruch-joint</i> .....	17
Tabel 2.5 Konektor langsung untuk peralatan bertenaga list.....	18
Table 2.6 Isi kit terminasi merk Raychem.....	19
Tabel 3.1 Data penyulang Leci di gardu induk Jababeka .....	38
Tabel 3.2 Data PT. Multistrada Arah Sarana di gardu MLST.....	40
Tabel 3.3 Perkiraan susut energi total per-bulan tahun 2009.....	44
Tabel 3.4 Perkiraan susut energi penghantar per-bulan tahun 2009.....	52
Tabel 3.5 Perkiraan susut energi lain per-bulan tahun 2009.....	56
Tabel 3.6 Hasil perhitungan <i>forecasting</i> untuk bulan Juni-Desember 2009.....	59
Tabel 3.7 Susut energi bulan Januari - Desember penyulang Leci tahun 2009.....	60
Tabel 4.1 Perkiraan susut penghantar melalui skenario parallel penghantar tahun 2009.....	64
Tabel 4.2 Tabel 4.2 Perkiraan persentase susut energi kondisi eksisting dengan skenario 1 dan 2.....	73
Tabel 4.3 Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 (kondisi eksisting).....	74
Tabel 4.4 Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 ( skenario 1 ).....	75
Tabel 4.5 Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 ( skenario 2 ).....	76
Tabel 4.6 Perkiraan biaya skenario 1 dan perbandingan investasinya.....	77

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jaringan Tegangan Menengah.....	6
Gambar 2.2 Konfigurasi Radial.....	7
Gambar 2.3 Konfigurasi hantaran penghubung ( <i>TIE Line</i> ).....	8
Gambar 2.4 Konfigurasi lingkaran ( <i>Loop</i> ).....	9
Gambar 2.5 Konfigurasi Spindel.....	10
Gambar 2.6 Konfigurasi spindel dari 2 gardu induk .....	10
Gambar 2.7 Konfigurasi sistem gugus ( <i>Cluster System</i> ).....	11
Gambar 2.8 Segitiga daya.....	21
Gambar 2.9 Karakteristik <i>power factor</i> terhadap tegangan.....	25
Gambar 2.10 Vektor rangkaian tegangan.....	25
Gambar 2.11 Kurva efisiensi trafo.....	28
Gambar.2.12 Prinsip kerja <i>Automatic Meter Ready</i> .....	35
Gambar 3.1 Single line penyulang Leci.....	37
Gambar 3.2 Grafik susut energi total per-bulan tahun 2009.....	45
Gambar 3.3 Grafik susut energi penghantar per-bulan tahun 2009.....	53
Gambar 3.4 Grafik susut energi lain per-bulan tahun 2009.....	57
Gambar 4.1 Penyulang dengan satu penghantar.....	63
Gambar 4.2 Penyulang dengan paralel penghantar.....	63
Gambar 4.3 Penyulang dengan paralel penghantar.....	65
Gambar 4.4 Jenis jointing kabel menggunakan LTC.....	68
Gambar 4.5 Jenis jointing kabel menggunakan LTC.....	72

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG

Susut energi pada jaringan merupakan masalah utama PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten. PT PLN pada tahun 2008 gagal menekan susut energi (*losses*) di bawah dua digit. Kerugian yang timbul sebagai akibat teknis maupun non teknis selama tahun 2008, rata-rata nasional masih di atas 12 persen. PLN memang kesulitan untuk memenuhi target pemerintah dalam menekan kerugian. Namun, PLN menargetkan pada tahun 2009 untuk menekan susut energi di bawah 12 persen. Kerugian akan dihindari dengan upaya pembenahan jaringan maupun administrasi pelanggan.

Masalah susut energi ini berhubungan dengan masalah pada sistem distribusi dan sosialisasi masalah kualitas energi listrik di pembangkit, transmisi, distribusi, konsumen, dan produsen peralatan. Masalah *losses* ini mesti ditanggulangi dengan seserius mungkin. *Losses* pada jaringan adalah masalah yang kompleks. Dengan naiknya standar kehidupan, masyarakat menuntut keandalan pelayanan yang tinggi. Energi listrik yang hilang dalam perjalanan baik disaluran transmisi maupun disaluran distribusi disebut dengan rugi-rugi atau susut energi teknis. Sedangkan susut energi non teknis lebih banyak disebabkan oleh masalah-masalah yang berkaitan dengan pengukuran pemakaian energi listrik di sisi pelanggan.

Dalam hal ini penulis akan membahas mengenai susut energi (*Losses*) yang terjadi akibat susut energi teknis saja. Laporan skripsi ini berisi tentang identifikasi susut energi pada penyulang Leci saluran kabel tegangan menengah (SKTM) di gardu induk Jababeka. Hasil analisis susut energi pada penyulang Leci ini diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dari data yang didapatkan. Data tersebut berisi penyebab-penyebab *losses*, perhitungan secara teoritis, dan standarisasi dengan solusi menggunakan skenario terbaik dan cocok dalam melakukan penekanan atau pengurangan susut energi pada

penyulang dan melakukan alternatif perbaikan baik dari sisi teknis maupun biaya seperti menggunakan skenario paralel penghantar, penggantian penghantar dengan nilai resistansi yang lebih rendah, menaikkan tegangan sebesar 1 kV, dan penggantian konektor, serta mengevaluasi perkiraan investasi biaya yang diperlukan PLN untuk mengatasi susut energi.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Dalam laporan skripsi ini, permasalahan yang akan dibahas adalah tentang perkiraan susut energi dan alternatif perbaikan baik dari sisi teknis maupun biaya pada penyulang Leci di gardu induk Jababeka.

## 1.3 BATASAN MASALAH

Sesuai dengan rumusan yang telah dipaparkan diatas, maka batasan yang diberlakukan dalam skripsi ini adalah tentang :

1. Identifikasi susut energi pada penyulang Leci di G.I Jababeka. Data yang diperlukan adalah data kWh meter, data arus, spesifikasi penghantar, spesifikasi transformator, konektor, dll.
2. Data susut energi penyulang Leci ini diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dari data-data yang didapatkan, seperti; berdasarkan penyebab-penyebab *losses*, perhitungan secara teoritis, dan standarisasi.
3. Susut energi yang akan dibahas dalam laporan skripsi ini adalah susut teknis saja yaitu melakukan alternatif perbaikan baik dari sisi teknis maupun biaya seperti menggunakan skenario paralel penghantar, penggantian penghantar dengan nilai resistansi yang lebih rendah, menaikkan tegangan sebesar 1 kV, dan penggantian konektor, serta mengevaluasi, sedangkan susut non teknis tidak diperhitungkan.
4. Dalam laporan skripsi ini, penulis melakukan sistem *forecasting single moving Averages 7* bulan yaitu dari bulan Juni-Desember 2009, hal ini dikarenakan data yang didapatkan penulis hanya 5 bulan yaitu Januari-Mei 2009. Sedangkan penulis membutuhkan data untuk 1 tahun.

#### 1.4 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengkaji kinerja penyulang Leci di gardu induk Jababeka berdasarkan identifikasi susut energi serta melakukan alternatif perbaikan baik secara teknis maupun biaya.

#### 1.5 METODOLOGI PENULISAN

Dalam penulisan skripsi ini, metode yang akan dilakukan meliputi tahap - tahap sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mencoba mencari literatur yang terkait dengan pengidentifikasian susut energi, penyebabnya, evaluasi biaya. Dari hasil studi literatur ini penulis dapat menentukan spesifikasi teknis yang lebih rinci guna merencanakan suatu solusi dan evaluasi biaya sebagai tujuan akhir.

2. Pengumpulan dan pengolahan data.

Setelah penulis melakukan studi literatur, maka pada tahap ini penulis akan melakukan pengumpulan data yang didapat dari UPJ Prima dan UPD Bekasi.

3. Pengukuran

Setelah penulis mendapatkan data-data yang dibutuhkan, kemudian penulis akan melakukan pengukuran sebagai tolak ukur ataupun kekurangan data yang tidak didapatkan di UPJ Prima dan UPD Bekasi.

4. Analisis data dan pengukuran

Pada tahap ini penulis akan melakukan analisis mengenai *losses* yang ada pada jaringan tersebut. Berdasarkan pengidentifikasian, perolehan data dan hasil pengukuran.

5. Alternatif perbaikan dan evaluasi biaya

Alternatif perbaikan yang akan digunakan meliputi; skenario terbaik dan cocok dalam melakukan penekanan atau pengurangan susut energi pada penyulang dan mengevaluasi biaya perkiraan investasi biaya yang

diperlukan PLN untuk mengatasi susut energi dengan menggunakan skenario diatas.

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Adapun sistematika penulisan Skripsi ini adalah berupa :

Bab 1 berisi pendahuluan yang menguraikan latar belakang, tujuan pembahasan, perumusan masalah, pembatasan masalah, metode penyusunan dan sistematika penulisan. Bab 2 berisi tentang landasan teori yang mendukung topik yang penulis bahas. Bab 3 berisi tentang data-data dan perhitungan susut energi. Bab 4 Berisi tentang alternatif perbaikan dan evaluasi biaya akibat susut energi. Sedangkan pada bab 5 berisi kesimpulan setelah penulis melakukan penelitian di PLN UPJ Prima dan UPD Bekasi.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Sistem Distribusi Tegangan Menengah**

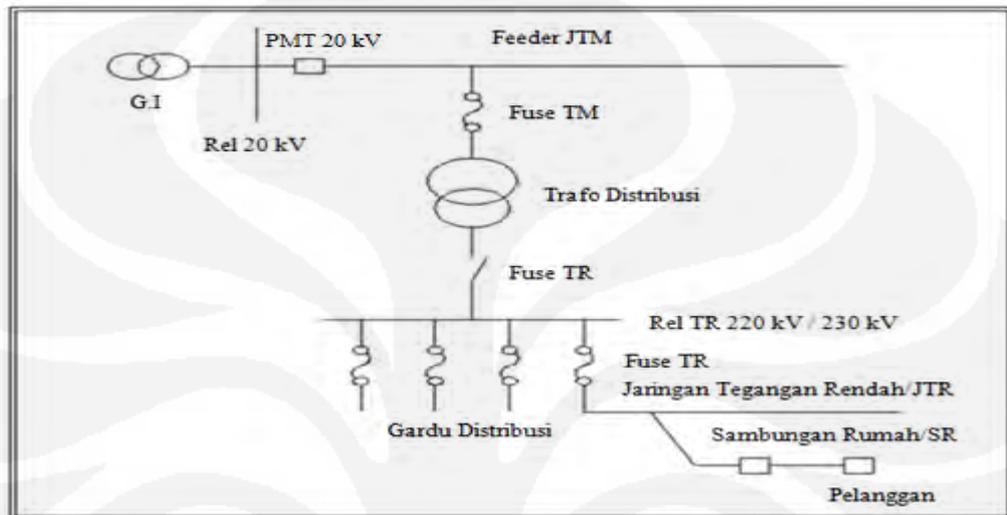
Fungsi dari sistem distribusi adalah mendistribusikan/menyalurkan energi listrik dari pusat sumber (Gardu Induk) ke pusat-pusat/kelompok beban (gardu distribusi) dan konsumen dengan mutu yang memadai. Kontinuitas pelayanan (yang merupakan salah satu unsur dari mutu pelayanan) tergantung pada macam sarana penyalur dan pengamatan pengamanan. Penyaluran didalam jaringan distribusi ini mempunyai tingkat kontinuitas yang tergantung pada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya, yang pada hakekatnya direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban.

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah sistem distribusi. Sistem distribusi juga adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Jaringan distribusi yang diisi oleh sebuah G.I umumnya tidak dihubungkan secara listrik dengan jaringan distribusi yang diisi dari G.I lain, sehingga masing-masing jaringan distribusi beroperasi secara terpisah satu sama lain. Seperti terlihat pada gambar dibawah, sistem distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah. (JTR). Baik JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara radial.

Dalam sistem yang perkembangannya masih baru, jaringan distribusi langsung diisi oleh pusat listrik, karena untuk sistem yang perkembangan masih baru, bebannya relatif masih rendah sehingga tidak diperlukan sistem penyaluran (*Transmission*). Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan dalam sistem distribusi adalah relatif banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian sistem yang lain. Di samping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi energi dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus-menerus, untuk

dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan operasi sistem distribusi.

Sistem distribusi kebanyakan merupakan jaringan yang diisi dari sebuah Gardu Induk (G.I), seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Jaringan tegangan menengah [6]

Pasokan daya listrik pada sistem distribusi 20 kV PLN didapat dari sistem penyaluran 150 kV melalui Trafo Tenaga yang berfungsi sebagai trafo penurun tegangan (*Step Down*) 150/20 kV yang terpasang di Gardu Induk dengan kapasitas yang bervariasi antara 5, 10, 20, 30 s/d 60 MVA. Keluaran (*Outgoing*) dari trafo daya dikumpulkan dulu pada Bus 20 kV di kubikel di Gardu Induk untuk kemudian di distribusikan melalui beberapa Penyulang 20 kV ke konsumen dengan jaringan berupa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) atau Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). Jaringan SKTM relatif lebih pendek dan berada didalam kota besar dengan jumlah gangguan yang relatif sedikit. Bila terjadi gangguan itu biasanya pada sambungan yang akan merupakan gangguan permanen.

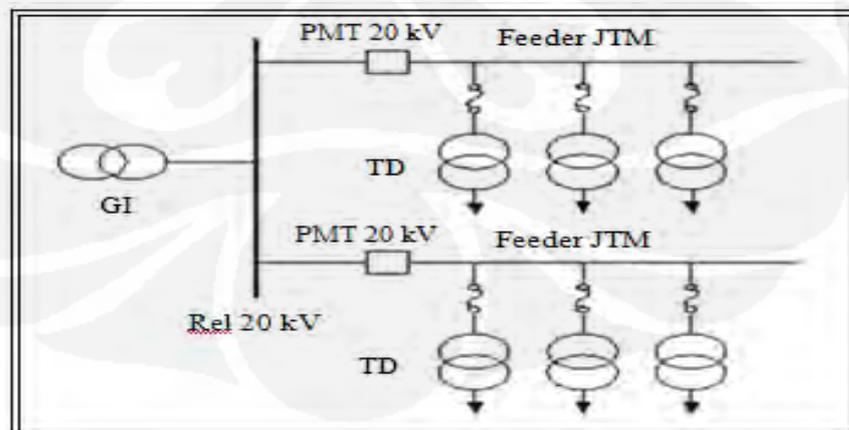
Seperti halnya di jaringan SUTM, di jaringan SKTM juga terdapat Gardu Distribusi untuk percabangan ke beban konsumen atau percabangan SKTM. Bentuk jaringan sistem saluran distribusi bawah tanah pada dasarnya sangat berpengaruh pada sistem distribusi. Bentuk jaringan dalam hal ini menyatakan bagaimana unsur-unsur jaringan dihubungkan, khususnya mengenai letak dan

jenis alat-alat penghubungnya. Titik berat rancangan sistem saluran distribusi bawah tanah menekankan pada kemudahan penghubung untuk bagian sistem yang terganggu dan tetap memberikan pelayanan pada beban.

Pada dasarnya sistem jaringan tegangan menengah yang ada bila dikelompokkan terdiri dari lima kelompok, yaitu :

#### 1. *Radial*

Jaringan *radial* dengan cabang-cabangnya dapat di pasok dari satu tempat, lihat gambar 2.2. Jaringan ini pada umumnya merupakan saluran udara tegangan menengah (SUTM), sedangkan untuk saluran kabel tegangan menengah (SKTM) jumlahnya lebih sedikit. Jaringan ini umumnya merupakan jaringan luar kota. Bentuk jaringan ini adalah yang paling sederhana dan untuk pemasangan dan penggunaannya adalah yang paling murah. Namun kelemahan dari sistem jaringan ini adalah tidak memiliki cadangan (*Redundancy*) dan tanpa pembagian, sehingga dalam pemakaian system distribusi bawah tanah radial ini sangatlah terbatas. Gambar 2.2 juga menunjukkan sebagai sistem radial dari distribusi. Gardu induk memasok feeder system distribusi primer secara terarah dari bus gardu induk. Sistem ini memberikan daya pada transformator distribusi dengan menurunkan tegangan ke level tegangan distribusi dan memasok beban-beban dan seterusnya ke distribusi. Juga ditunjukkan sebagai distribusi radial dan sisi distribusi sekunder.

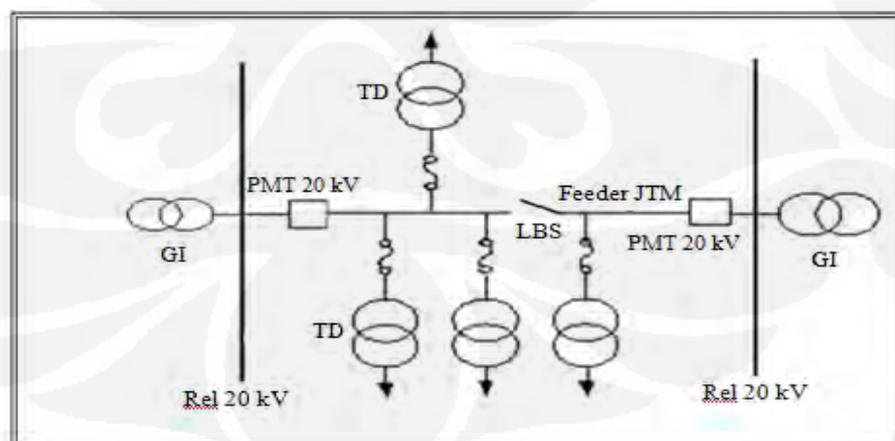


Gambar 2.2 Konfigurasi radial [6]

Gambar di atas menggambarkan JTM berupa *feeder radial* yang keluar dari G.I. Sepanjang setiap feeder terdapat trafo distribusi (TD) yang dilengkapi dengan sekering. Trafo distribusi umumnya diletakkan sedekat mungkin dengan beban sehingga umumnya terletak didalam kota apabila yang dilayani adalah kota bukan desa. Di lain pihak didapat kesulitan untuk meletakkan G.I didalam kota karena masalah izin tanah untuk SUTT dan untuk bangunan G.I.

## 2. Konfigurasi Hantaran Penghubung ( *TIE Line* )

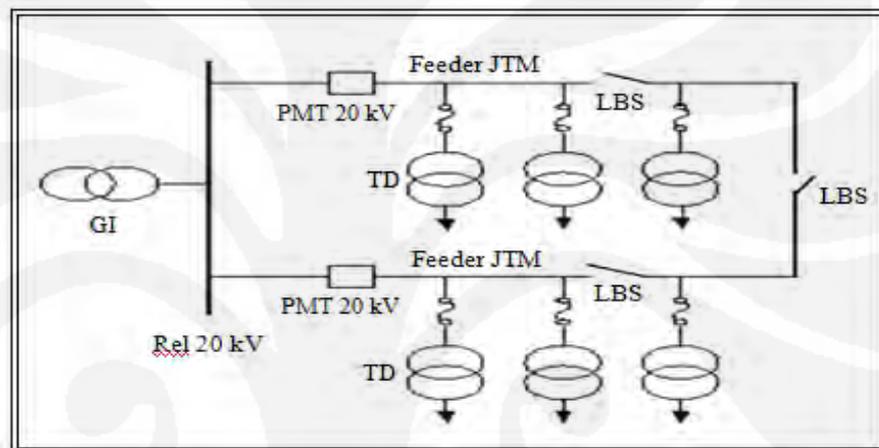
Jaringan radial dengan cabang-cabangnya yang dipasok dari dua tempat (*sistem TIE Line*), gambar .2.3. Jaringan ini umumnya merupakan SUTM. Jaringan ini umumnya merupakan jaringan luar kota. Perlu diperhatikan bahwa jika dipasok dari satu sistem (misalnya 150 kV) perlu diperhatikan juga diagram vector dari masing-masing Gardu Induk. Dalam hal ini yang penting di sistem 20 kV tidak terdapat pergeseran fasa, sistem ini banyak terdapat di Jawa Tengah. Operasi sistem ini pada umumnya disuatu titik dibuka, sehingga jaringan distribusi ini tidak menginterkoneksi antar G.I. Disistem terpisah misalnya diluar jawa didaerah terpencil, ataupun di pulau-pulau kecil juga banyak terdapat, yaitu menghubungkan dua sistem Pusat Pembangkit dan operasinya tertutup atau sebagai saluran interkoneksi.



Gambar 2.3 Konfigurasi hantaran penghubung ( *TIE Line* ) [6]

### 3. Konfigurasi Loop atau parallel

Jaringan lingkaran pada hakekatnya merupakan jaringan radial dengan cabang-cabangnya yang dapat dipasang dari satu tempat tetapi dari dua penyulang lihat gambar 2.4. Jaringan ini umumnya merupakan SUTM tetapi sebagian lagi berbentuk SKTM. Jaringan ini umumnya merupakan jaringan dalam kota. Keunggulan dari jaringan ini adalah, bila salah satu penyulang terjadi gangguan, maka penyulang lain akan mengisi beban gardu-gardu yang tidak terganggu pada penyulang tersebut.



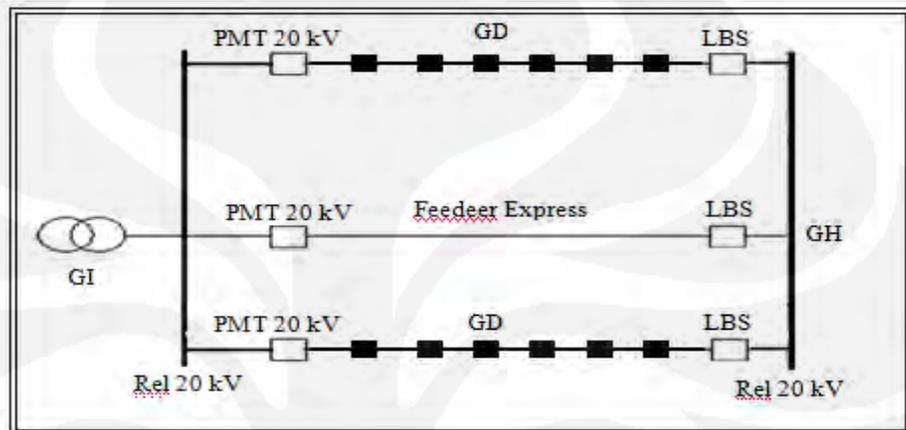
Gambar 2.4 Konfigurasi lingkaran ( Loop ) [6]

### 4. Konfigurasi Spindel

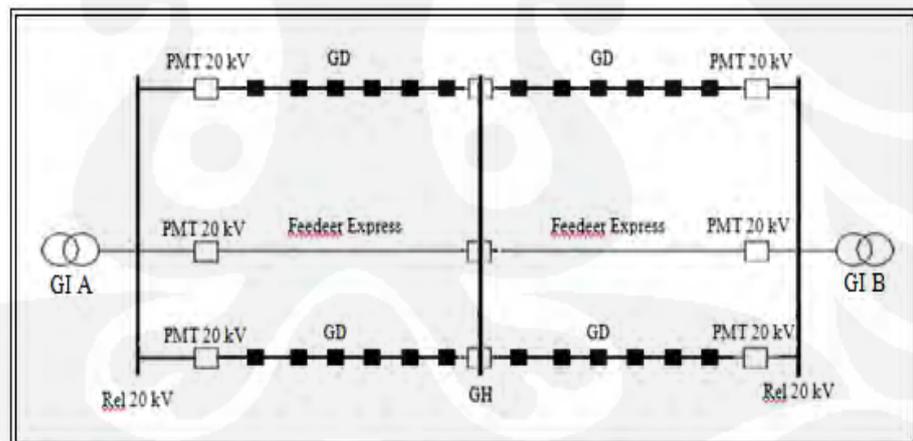
Jaringan spindel merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah atau SKTM, lihat gambar 2.5 dan gambar 2.6 merupakan spindel lengkap yang dipasang dari 2 gardu induk. Jaringan ini terutama di kota-kota besar misalnya: Jakarta, Bandung, dan Medan. Adapun operasi spindel adalah sebagai berikut:

- a. Dalam keadaan normal semua penyulang (*feeder*) di gardu hubung (G.H) terbuka, sehingga semua SKTM beroperasi radial.
- b. Dalam keadaan normal penyulang (*feeder*) ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di Gardu Hubung (G.H) dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari G.H.

- c. Bila salah satu seksi dari penyulang (*feeder*) SKTM baik penyulang A maupun B mengalami gangguan maka sakelar beban (*Load Break Switch*) di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka, kemudian seksi-seksi di sisi Gardu Induk (G.I) mendapat suplai dari G.I, sedangkan seksi-seksi gardu di sisi G.H mendapat suplai dari G.H melalui penyulang ekspres.



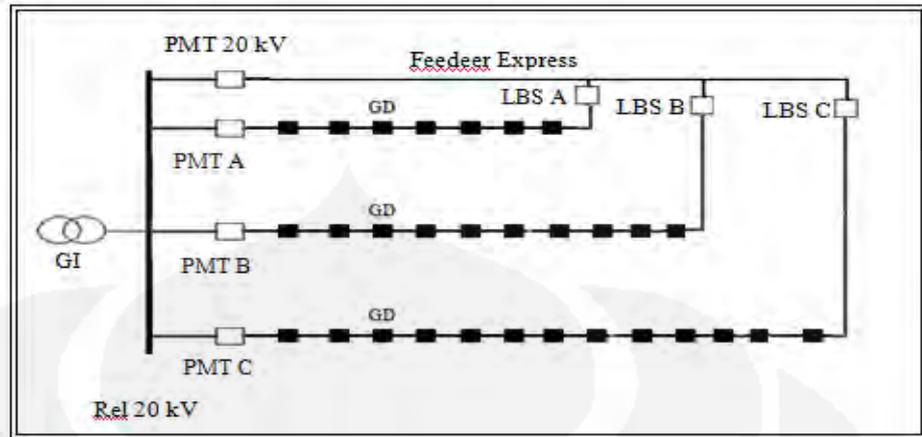
Gambar 2.5 Konfigurasi spindel [6]



Gambar 2.6 Konfigurasi spindel dari 2 gardu induk [6]

##### 5. Konfigurasi Gugus (*Cluster System*)

Sistem ini merupakan variasi sistem spindel, dimana bentuk sistem ini menyerupai sistem spindel. Tetapi sistem ini tidak mempunyai G.H khusus tetapi penyulang (*feeder*) ekspres dimanfaatkan sebagai G.H.



Gambar 2.7 Konfigurasi sistem gugus (*Cluster System*) [6]

## 2.2 Penghantar

Penghantar adalah suatu media yang berfungsi untuk menyalurkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar ini merupakan bahan konduktor yang biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga. Penghantar yang digunakan untuk instalasi listrik adalah berisolasi dan dapat berupa kawat berisolasi atau kabel. Ada juga penghantar tanpa isolasi seperti BC (*Bare Conductor*), penghantar berlubang (*Hollow Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), A3C (*All Aluminium Alloy Conductor*), A3CS (*All Aluminium Alloy Conductor Solution*) dan ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*).

### 2.2.1 Jenis Penghantar.

Jika dilihat dari bahannya, penghantar yang ada dipasaran sekarang adalah dari jenis dengan bahan aluminium dan tembaga. Kedua bahan ini mempunyai sifat yang berbeda, berikut adalah tabel perbandingannya:

Tabel 2.1 Perbandingan antara aluminium dan tembaga

NO	SIFAT	BAHAN	
		ALUMINIUM	TEMBAGA
1	Massa Jenis	2,7 g/cm <sup>3</sup>	8,96 g/cm <sup>3</sup>
2	Kekuatan Tarik	20 – 30 kg/cm <sup>2</sup>	40 kg/cm <sup>2</sup>
3	Daya Tahan Jenis	0,0175 Ω.m/mm <sup>2</sup>	0,029 Ω.m/mm <sup>2</sup>
4	Daya Hantar Jenis	57 mm <sup>2</sup> /Ω.m	35 mm <sup>2</sup> /Ω.m

Catatan : Nilai-nilai pada tabel ini tidaklah mutlak dan tergantung pada bahan.

Sumber : *Instalasi Listrik 1*.(Muhaimin)

Penghantar yang digunakan untuk instalasi listrik adalah penghantar yang berjenis kabel berisolasi. Kabel ini dapat dibedakan berdasarkan kegunaannya, antara lain:

- a. Kabel instalasi.
- b. Kabel tanah.
- c. Kabel fleksibel

### 2.2.2 Kabel Tanah

Kabel Tanah adalah salah satu atau beberapa bagian kawat yang terisolasi sehingga tahan terhadap tegangan tertentu maupun dari pengaruh garam- garam tanah dan bahan kimia yang berada dalam tanah. Menurut jenis kabelnya, kabel tanah terbagi menjadi beberapa bagian, diantaranya adalah.

1. Menurut kulit pelindung (*Armour*) :
  - a. Kabel bersarung timah hitam (*Lead sheathed Armour*)
  - b. Kabel berkulit pita baja (*Steel Tape Armour*)
  - c. Kabel berkulit kawat baja (*Steel wire Armour*)
  - d. Kabel berkulit kawat tembaga (*Chopper wire Armour*)
  - e. Kabel berkulit baja tahan karat (*Stainles Wire Armour*)
  - f. Kabel berkulit kawat alumunium (*Alumunium wire Armour*)
2. Menurut Konstruksinya :
  - a. Plastik dan Karet.
  - b. Padat (*Solid*)
  - c. Jenis datar (*Flat-type*)
  - d. Minyak (*Cill-filled*)
  - e. Kabel pipa (*Pipe-type*)
3. Menurut Pemasangannya :
  - a. Kabel tanah (*underground cable*)
  - b. Kabel udara (*aerial cable*)
  - c. Kabel laut (*submarine cable*)

Keterangan :

a. Kode kabel :

- N : Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
- NA : Kabel jenis standar dengan aluminium sebagai penghantar
- NFA : Kabel pilin jenis standar dengan aluminium sebagai penghantar
- 2 X : Isolasi XLPE
- S : Lapisan tembaga
- SE : Lapisan tembaga pada masing-masing inti
- C : Penghantar tembaga konsentris
- CE : Penghantar tembaga konsentris pada bagian luar masing-masing inti.
- F : Perisai kawat baja pipih
- R : Perisai kawat baja bulat
- Y : Selubung luar PVC atau selubung dalam
- Cm : Penghantar bulat berkawat banyak dipadatkan
- Rm : Penghantar bulat berkawat banyak

b. Contoh :

Kabel N2XS 1x 150Rm 12/20 kV

Pernyataan diatas menyatakan bahwa kabel tersebut berinti tunggal dengan tegangan nominal 12/20 kV. Berisolasi XLPE dan berpenghantar tembaga dipilin bulat berkawat dengan luas penampang sebesar 150 mm<sup>2</sup>. Kabel tersebut berselubung dengan menggunakan lapisan tembaga dengan besar penampang 25 mm<sup>2</sup>.

### 2.2.3 Penentuan Pemakaian Kabel

Untuk menentukan jenis penghantar baik itu kawat berisolasi maupun kabel, harus ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis yang meliputi tegangan nominalnya, konstruksi (ukuran), dan KHA (kuat hantar arusnya). Kontruksi atau

luas penampang dari penghantar juga dapat ditentukan dengan melihat rapat arus nominal suatu penghantarnya. Pada dasarnya, penentuan rapat arus ini berhubungan dengan suhu maksimum penghantar yang akan ditimbulkan oleh aliran arus. Rapat arus (S) ini dapat dinyatakan sebagai [9]:

$$S = \frac{I}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan :

S = rapat arus [ $A/mm^2$ ]

A = luas penampang kabel [ $mm^2$ ]

I = arus lewat [A]

Dalam memilih penampang kabel, hal lain yang perlu diperhatikan adalah KHA dari kabel. Untuk menentukan besar arus yang akan melewati kabel yang akan terpasang, dapat dihitung dengan rumus berikut [9]:

$$1. \text{ Untuk arus searah} \quad : \quad I = \frac{P}{V_K} \quad (2.2)$$

$$2. \text{ Untuk arus bolak balik 1 fasa} \quad : \quad I = \frac{P}{V_K \cdot \cos \varphi} \quad (2.3)$$

$$3. \text{ Untuk arus bolak balik 3 fasa} \quad : \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_K \cdot \cos \varphi} \quad (2.4)$$

Keterangan :

I = arus beban [Amp]      P = daya yang diperlukan [Wat]

Cos  $\varphi$  = faktor daya       $V_K$  = tegangan kerja maksimum [Volt]

Berdasarkan konstruksi dan kuantitasnya juga akan mempengaruhi besarnya nilai resistansi dari penghantar, yang besarnya didasarkan oleh hukum Ohm dalam panas sebagai pengganti satuan listrik, yaitu [9]:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (2.5)$$

Keterangan :

R = nilai resistansi [ $\Omega$ ]      L = panjang penghantar [M]

$\rho$  = resistivitas [ $\Omega/m$ ]      A = luas penampang penghantar [ $M^2$ ]

Namun, cara lain untuk mengetahui nilai resistansi dari suatu penghantar juga dapat melihat tabel berikut :

Table 2.2 Nilai resistansi kabel [7]

NO	KABEL ISOLASI PLASTIK ( Cu ) 4 KAWAT		
	Penampang (mm <sup>2</sup> )	Resistansi	
		R (mΩ/m)	X (mΩ/m)
1	2.5	7.12	0.114
2	4	4.45	0.107
3	6	2.967	0.1
4	10	1.78	0.094
5	16	1.112	0.09
6	25	0.712	0.086
7	35	0.508	0.083
8	50	0.356	0.083
9	70	0.254	0.082
10	95	0.187	0.082
11	120	0.148	0.08
12	150	0.118	0.08
13	185	0.096	0.08
14	240	0.074	0.079
15	300	0.059	0.079
16	400	0.044	0.079
17	500	0.035	0.078

### 2.3 Terminasi

Panjang suatu kabel memiliki keterbatasan karena faktor-faktor produksi, transportasi, dan pemasangan kabel. Karena sambungan kabel (*cable joint*) diperlukan untuk system kabel pada saluran transmisi jarak jauh. Selain itu pula, disamping panjangnya saluran, diperlukan juga adanya terminal pada ujung kabel. Hal ini disebabkan karena ujung kabel harus terhubung dengan saluran jaringan atas (*overhead*) atau peralatan listrik (*electric apparatus*). Sambungan kabel dan terminal disarankan memiliki karakteristik yang sama dengan kabel.

Sistem terminasi pada sebuah saluran kabel distribusi primer bawah tanah adalah dengan menggunakan alat yang dinamakan Jointing Box. Alat terminasi tersebut dibutuhkan pada setiap ujung kabel dengan tegangan lebih besar dari ujung kabel lain yang akan dihubungkan.

Tujuan dilakukan terminasi pada kabel adalah sebagai berikut :

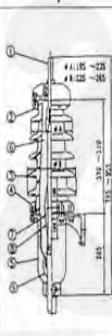
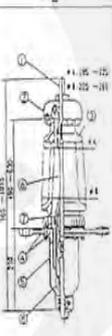
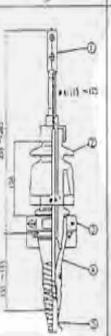
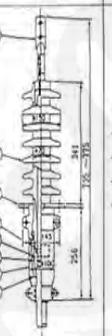
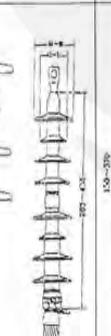
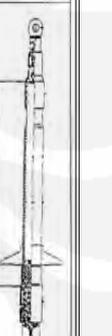
1. Memecahkan stress yang bertumpuk pada suatu titik di ujung setengah konduktor kabel.
2. Melindungi ujung kabel tersebut dari suatu rembesan air dan uap udara serta pengaruh lainnya.
3. Memberikan lapisan tidak berjejak pada lapisan luar ujung kabel, sehingga walaupun terjadi tegangan tembus pada terminasi tidak akan terjadi terulang pada bagian yang sama.

### 2.3.1 Jenis dan Karakteristik Sambungan Kabel, Terminal Kabel Serta Terminasi Kabel

#### 1. Terminal

Tabel 2.3 menunjukkan konstruksi, area aplikasi, metode isolasi untuk interface, metode pelepasan tegangan (*stress-relief*) dan metode *assemble* terminal kabel yang digunakan diseluruh dunia.

Tabel 2.3 Jenis dan karakteristik terminasi kabel [7]

	1	2	3	4	5	6	7
Konstruksi							
Rata-rata Tegangan	Kurang dari 22kV	22kV, 33kV	6.6kV	6.6kV, 22kV	18/33kV	15kV, 25kV, 35kV	7.2, 12, 17.5, 24, 30kV
Aplikasi Ukuran Konduktor	Didalam-luar ruangan Dari 60 sampai 1200	Didalam-luar ruangan Dari 60 sampai 1200	Diluar ruangan Dari 22 sampai 325	6.6kV Didalam-luar ruangan: 60-325 22kV didalam ruangan: 60-400	Diluar ruangan	Diluar ruangan	Didalam-luar ruangan Sampai 24kV; kurang dari 120-34kV; kurang dari 60
Isolasi rambatan	Porselen	Porselen	Porselen	Tube karet	Tube Silikon	Tabung silikon dingin mampu susut	Tabung panas PE mampu susut
Kontrol Tegangan	Taping stress cone	Molded stress cone	Molded stress cone	Molded stress cone	Silicone stress cone	Tabung kontrol tekanan	Tabung kontrol tekanan
Khusus	Porselen berat	Porcelain berat	-	-	-	-	-
Bagaimana membuat anti air	Pita isolasi, Gasket, Pita anti air	Pita isolasi, Gasket, Pita anti air	Lug, keramik semen, Pita Mastic PE.	Lug, molded lem, 6.6kV : Pita Mastic EP	Karet kompresi dan lug Pita mastic	Pita anti air	Pita anti air
Bagaimana melakukan pentanahan (ground)	Kawat tembaga anilasi	Kawat tembaga anilasi	Kawat tembaga anilasi	22kV : Tape isolasi, Tape Proteksi Kawat tembaga anilasi	Armor kawat kabel	Sambungan tanah tanpa solder	Kawat perisai bengkok

## 2. Sambungan *straight-trough joint* dan sambungan *bruch-joint*

Tabel 2.4 menunjukkan konstruksi pada umumnya sambungan *straight-trough joint* dan sambungan *bruch-joint* dan juga menjelaskan karakteristik dan metode isolasi serta metode pemasangan (*assemble*).

Tabel 2.4 Sambungan *straight-trough joint* dan *bruch-joint* [7]

No.	Konstruksi	Spesifikasi	
1		Rata-rata tegangan	22kV
		Ukuran kabel	Kurang dari 500
		Bahan isolasi	Pita
		Kontrol stress	Kontrol stress
		Koneksi	Press
		Koneksi screen	Soldering
		Anti Air	Pipa Timbal + Pita
		Khusus	-
		Asembling	-
		2	
Ukuran kabel	Kurang dari 400		
Bahan isolasi	Insulation Tube + Ep spacer		
Kontrol stress	Kontrol stress		
Koneksi	Press		
Koneksi screen	Soldering		
Anti Air	Tube Heat Shrinkable + Pita		
Khusus	-		
Asembling	-		
3			
		Ukuran kabel	Kurang dari 630
		Bahan isolasi	Tube Heat Shrinkable
		Kontrol stress	Tube Heat Shrinkable
		Koneksi	Press
		Koneksi screen	Soldering
		Anti Air	Tube Heat Shrinkable
		Khusus	-
		Asembling	-
		4	
Ukuran kabel	Kurang dari 500		
Bahan isolasi	Tube kontrol stress + resin		
Kontrol stress	Tube Kontrol stress		
Koneksi	Press		
Koneksi screen	Soldering		
Anti Air	PVC case + tape		
Khusus	-		
Asembling	-		

## 3. Konektor langsung untuk peralatan bertenaga listrik

Table 2.5 menunjukkan beberapa contoh konektor yang digunakan diseluruh dunia diantaranya adalah.

- Tipe lurus

Bentuk yang paling kompak karena kemampuannya mengurangi bagian structural, namun sulit untuk diputus dan disambung (*cut off and on*).

- Tipe L

Paling banyak digunakan karena mudah untuk diputus dan disambung (*cut off and on*), namun harus memiliki *metal fitting*.

- Tipe T

Pada umumnya digunakan untuk terminal arus besar. Tidak baik untuk diputus dan disambung (*cut off and on*). Namun tidak perlu

memiliki *metal fitting*. Jenis ini juga bisa diterapkan pada sambungan lurus (*straight*) dan *branch* dengan melakukan pemasangan (*assemble*) terminal-terminal tersebut.

Tabel 2.5 Konektor langsung untuk peralatan bertenaga listrik [7].

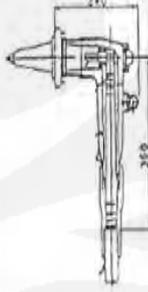
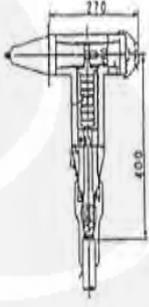
	1	2	3
Konstruksi			
Rata-rata tegangan	6.6kV	Kurang dari 24kV	Kurang dari 25kV
Rata-rata arus	Over cable conductor	400A	1250A
Bahan isolasi	EP	Silikon	EP
Kontrol stress	Stress cone	Stress cone	Stress cone
Koneksi	Plug-in	Plug-in	Bolted lug
Hubungan Tanah	Solder	Shielding wire	Shielding wire
Bentuk	Lurus	T form	T form
Titik Muatan	Shut	Shut	Shut
Pemisahan	Dead-break	Dead-brenk	Dead-break

Table 2.6 Isi kit terminasi merk Raychem :

NO	NAMA KOMPONEN	BANYAKNYA
1	Selongsong pencegah rembesan minyak (Bening)	3 buah
2	Selongsong konduktif (Hitam)	3 buah
3	Pita mastik kuning panjang	9 buah
4	Celana kabel konduktif (Hitam)	1 buah
5	konduktor - sesuai permintaan	3 buah
6	Pita mastik kuning pendek	6 buah
7	Pita perekat (Merah)	9 buah
8	Minyak silikon	2 buah
9	Selongsong pengendali stress (Hitam)	3 buah
10	Selongsong isolasi (merah)	3 buah
11	Selongsong isolasi konduktif (Merah - Hitam)	3 buah
12	Roll spring kecil	6 buah
13	Jaring tembaga	3 buah
14	Armour pelindung kabel	1 buah
15	Klem pengikat armour	2 buah
16	Kawat pengikat	2 buah
17	PVC tape	1buah
18	Lapisan luar pelindung kabel (Hitam)	1 buah
19	Rel penjepit	3 buah
20	Klip penyambung rel	2 buah
21	Cairan pembersih + lap	1 buah
22	Amplas	6 buah
23	Pita anyaman tembaga ( <i>Copper braid</i> )	3 buah
24	Instruksi pemasangan	1 buah
25	Roll spring besar	1 buah
26	Selongsong pendek berperekat	3 buah

Sumber: Instruksi pemasangan IJKA –SOD Jointing 24 kV kabel XLPE berinti 3 (tiga) berpelindung armour ( *Raychem* )

#### 2.4. Daya Listrik

Didalam sistem tenaga listrik dikenal tiga jenis daya listrik, yang masing-masing energi ini saling berhubungan dan dipengaruhi oleh besarnya nilai faktor kerja ( $\cos \varphi$ ). Sebuah sumber listrik arus bolak-balik (AC), memasok daya listrik dalam bentuk daya aktif dan daya reaktif. Energi reaktif ini hanya ada jika bebannya berupa beban induktif atau beban kapasitif. Ketiga bentuk energi tersebut adalah :

### 2.4.1. Daya aktif.

Daya ini dinyatakan dengan simbol P dengan satuan Watt atau kW. daya aktif ini diperlukan untuk diubah kedalam bentuk energi lain, misalnya: energi panas, cahaya, dan sebagainya. Besar dari daya aktif ini, dinyatakan dengan rumus [9]:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.6)$$

atau

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.7)$$

Keterangan :

$P$  = daya nyata [Watt]

$U$  = tegangan 3 $\varphi$  [Volt]

$V$  = tegangan 1 $\varphi$  [Volt]

$\cos \varphi$  = faktor daya

$I$  = arus [Ampere]

### 2.4.2 Daya Reaktif.

Daya reaktif dinyatakan dengan simbol Q dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktif) atau kVAR. Jenis daya ini diperlukan untuk keperluan pembentukan medan magnet pada peralatan yang bekerja dengan sistem electromagnet. Besar dari daya reaktif ini, dinyatakan dengan rumus [9] :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.8)$$

atau

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.9)$$

Keterangan :

$Q$  = daya nyata [Watt]

$\sin \varphi$  = faktor kerja untuk daya reaktif.

### 2.4.3 Daya Nyata.

Daya nyata adalah daya yang terbentuk dari daya aktif dan reaktif, daya ini dinyatakan dengan simbol S dengan satuan (*Volt Ampere/VA*). Daya nyata ini merupakan penjumlahan vector dari daya aktif dan reaktif. Hubungan dari ketiga jenis daya ini dapat kita lihat pada segitiga daya sebagai berikut [9]:

Persamaan untuk daya nyata ini adalah :

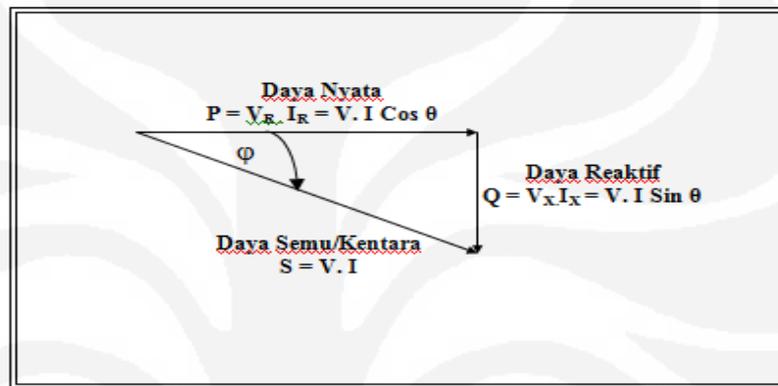
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.10)$$

dimana

$$S = V.I \quad (2.11)$$

atau

$$S = \sqrt{3}.U.I \quad (2.12)$$



Gambar 2.8. Segitiga daya [9]

## 2.5 Faktor Kerja ( $\cos \phi$ )

Faktor kerja ( $\cos \phi$ ) merupakan sudut yang terbentuk antara daya nyata (S) dan daya aktif (P). Hubungan antara kedua jenis daya dengan factor kerja ini, dapat ditentukan dari persamaan (1) dan (7) atau persamaan (2) dan (8). Kedua persamaan ini membentuk persamaan [9]:

$$P = S.\cos \phi \quad (2.13)$$

sehingga

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (2.14)$$

Bila dilihat dari jenis bebannya, beban listrik itu terbagi kedalam tiga jenis kelompok beban yang berbeda, yaitu beban yang bersifat resistif, induktif dan kapasitif. Besarnya nilai dari faktor kerja ( $\cos \phi$ ) ini sangat ditentukan oleh jenis beban yang terpasang dalam instalasi. Sebuah instalasi listrik akan optimal, baik dilihat dari segi teknis maupun dari segi ekonomis jika instalasi

yang terpasang tersebut memiliki faktor kerja ( $\cos \varphi$ ) mendekati atau sama dengan satu.

## 2.6 Susut Energi Pada Jaringan Distribusi Primer.

Energi listrik yang hilang dalam perjalanan baik di saluran transmisi maupun di saluran distribusi disebut dengan rugi-rugi atau *losses* teknis. Sedangkan *losses* non teknis lebih banyak disebabkan oleh masalah-masalah yang berkaitan dengan pengukuran pemakaian energi listrik di sisi pelanggan. Sehingga Pada dasarnya susut energi pada sistem distribusi primer berdasarkan penyebabnya dapat dibedakan menjadi :

- a. Susut energi teknis.
- b. Susut energi non teknis.

### 2.6.1 Susut Energi Teknis.

Pada dasarnya Susut energi teknis ini berdasarkan susut energi pada komponen yang diakibatkan ada kesalahan pada komponen tersebut. Sehingga berdasarkan hal tersebut diatas, susut energi teknis adalah sebagai berikut [5]:

#### 1. Penghantar

Berdasarkan rumus dasar susut daya:

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \quad (2.15)$$

Keterangan :

- P = susut daya pada penghantar [Watt]  
R = resisitansi total penghantar [ $\Omega$ ]  
I = arus beban rata – rata [A]

Maka besarnya susut energi adalah dipengaruhi oleh nilai R tersebut. Yang merupakan niali R total seluruh panjang penyulang. Sedangkan secara empiris besarnya tahanan (R) adalah sebagai berikut [9] :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (2.16)$$

Keterangan :

R = tahanan [ $\Omega$ ]                       $\rho$  = resistansi [ $\Omega \cdot m$ ]

L = panjang penghantar [m]    A = luas penampang penghantar [ $m^2$ ]

Dari penjelasan berdasarkan rumus diatas dapat dilihat bahwa besarnya R ini dipengaruhi oleh nilai-nilai penghantar berdasarkan jenisnya, besar penampangnya, dan panjang penghantar tersebut. Berdasarkan rumus diatas dapat disimpulkan susut energi akan bertambah dengan kenaikan besar Tahanan (R). Dan apabila kedua rumus diatas diturunkan maka [5]:

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (2.17)$$

Sehingga kesimpulannya bahwa nilai susut energi akan bertambah dengan besarnya  $\rho$  (resistansi), dan bertambahnya panjang penghantar (L), sedangkan susut energi akan menurun dengan kenaikan A (Luas penampang).

## 2. Kualitas sambungan (*connector Quality*).

Terminasi kabel yang buruk kondisinya bisa menyebabkan panas, sehingga bahan isolasi kabel bisa menguap mengotori ruang dan permukaan isolator penyangga rel didalam kubikel. Pada kondisi ini, nilai impedansi pada sistem akan bertambah, dan akibatnya nilai Losses juga akan bertambah. Sistem koneksi antara dua jenis kabel yang jenis dan ukurannya berbedapun mesti dikoneksikan dengan cable connector yang khusus. Karena pengkoneksian yang buruk juga akan menaikkan nilai impedansi. Pada sistem jaringan penyulang seperti disebutkan diatas penulis menyimpulkan bahwa sistem terminasi/koneksinya sangat buruk. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan dan penggantian konektor kabel.

3. Beban tidak seimbang (*Unbalance Current*)

Adanya pembebanan yang tidak seimbang, yaitu ketidaksamaan pembebanan di masing-masing fasa, menyebabkan adanya arus bocor urutan nol ( $I_0$ ) yang besarnya akan sebanding dengan ketidakseimbangan fasa-fasa, makin besar terjadi ketidakseimbangan maka arus bocor urutan nol nyapun akan besar. Arus bocor mempunyai kontribusi terhadap rugi-rugi (*losses*) sistem tenaga listrik.

4. Sistem pengukuran 3 fasa 3 kawat.

Sistem pengukuran yang selama ini diterapkan adalah mempergunakan sistem 3 fasa 3 kawat, hal ini sangat merugikan karena pada kenyataannya beban konsumen boleh dikatakan jarang yang seimbang. Hal ini dikarenakan pada sistem pengukuran 3 fasa 3 kawat ada satu fasa yang tidak terukur, sehingga hasil pengukuran tidak akurat lagi. Untuk menghindari kerugian ini.

5. Rugi – rugi pada Transformator Daya

Rugi-rugi (*losses*) trafo secara sederhana ditulis dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$P(\text{Losses}) = P_0 + A^2 \cdot P_b \quad (2.18)$$

Keterangan :

$P_0$  = rugi-rugi beban nol

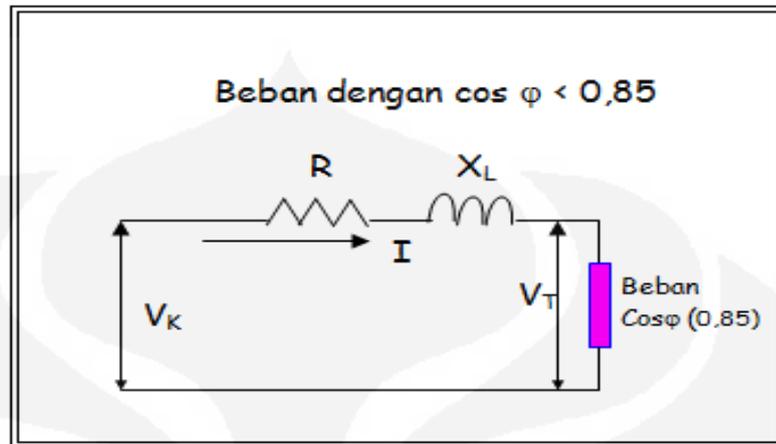
$P_b$  = rugi-rugi akibat adanya transfer energi dari sisi primer ke sekunder (*Impedance loss*) yang besarnya tergantung pada pembebanan trafo.

$A$  = faktor pembebanan = beban / beban nominal

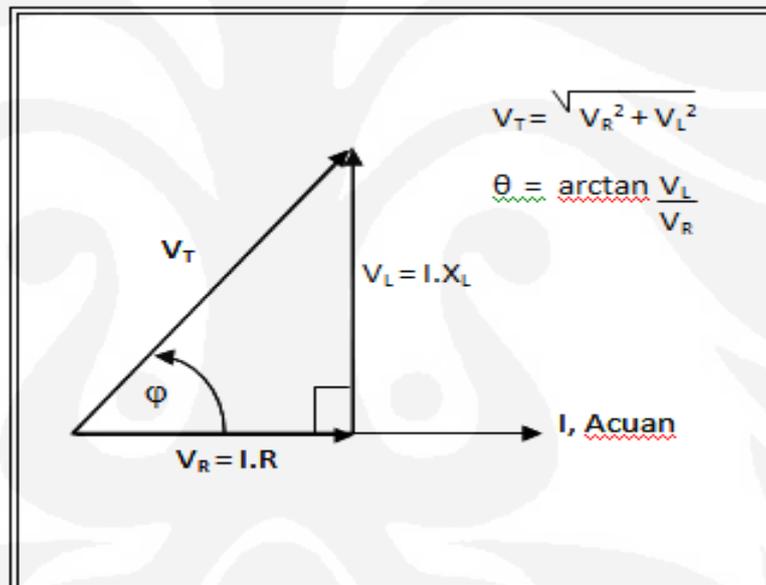
6.  $\cos \phi$  rendah.

Faktor kerja (*power factor*) rendah dapat juga menimbulkan kerugian daya aktif di jaringan sehingga terdapat perbedaan pengukuran kWh yang terpasang disisi pemasok dan disisi pemakai, sementara pihak pemakai merasakan bahwa pemakaian energi listriknya menjadi terbatas tidak sesuai dengan daya yang dikontraknya. Gambar

dibawah menjelaskan turunya *power factor* dapat mengurangi tegangan dipihak pemakai [9].



Gambar 2.9 Karakteristik *power factor* terhadap tegangan [9]



Gambar 2.10 Vektor rangkaian tegangan [9]

Persamaan jatuh tegangan 3 fasa [5]:

$$\Delta V_{3\phi} = \sqrt{3} (IR \cos \varphi + IX_L \sin \varphi) \text{ Volt} \quad (2.19)$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa semakin besar pemakaian arus dan besarnya sudut  $\varphi$  antara tegangan dan arus, mengakibatkan jatuh tegangan antara Gardu Induk dan konsumen semakin besar. Dari vektor diagram daya bahwa semakin besar sudut  $\varphi$  yang berarti nilai

$\cos \phi$  menjadi kecil sehingga untuk nilai Watt yang sama akan menarik VA yang besar.

### 2.6.1 Susut Energi Non Teknis.

Susut energi non teknis merupakan susut energi yang bukan diakibatkan kesalahan sistem, dalam arti penyebab susut energi adalah dari luar sistem atau yang berhubungan dengan sistem. Yang termasuk susut energi non teknis adalah sebagai berikut :

#### 1. Pencurian Listrik.

Bentuk pencurian listrik dapat dengan berbagai cara diantaranya dengan cara penarikan atau pemakaian energi listrik yang dilakukan oleh konsumen sendiri (sambungan liar), selain itu juga dengan cara penambahan energi listrik dengan tidak melalui aliran listrik (pencantolan) atau dengan cara penggantian alat ukur dengan tujuan merubah besar kWh yang diterima pelanggan dengan jumlah pada meteran.

#### 2. Pengaruh alat ukur.

CT (*Current Transformer*) dan VT (*Voltage Transformer*) adalah jenis Transformator yang mengakibatkan susut energi, namun nilainya tidak terlalu besar, berdasarkan riset adalah sebesar 0,6 % dari jumlah susut energi (riset dilakukan oleh ahli-ahli dari Inggris), serta pengaruh lain adalah perbedaan jenis kWh meter dan kelas meter. Karena antara kWh meter elektro-mekanik dan elektronik mempunyai keakuratan mengukur yang berbeda. Begitupun juga masalah kelas meter, semakin kecil kelas meter maka semakin akurat kWh meter tersebut dalam mengukur sebagai contoh :

- a. kWh meter elektronik mempunyai kelas meter 0,5 - 1, ini menandakan bahwa toleransi deviasi error kWh meter yang diperbolehkan sekitar  $\pm 0,5 - 2 \%$ .

b. kWh meter elektro-mekanik mempunyai kelas meter 5 - 1, ini menandakan bahwa toleransi deviasi error kWh meter yang diperbolehkan sekitar  $\pm 5 - 10 \%$ .

3. Kesalahan pembacaan meter.

Pemasangan kVARh dilakukan oleh PLN disisi konsumen dengan harapan kerugian-kerugian yang diakibatkan oleh turunnya power factor dapat dikompensir dan memperbaiki kualitas tegangan.

## 2.7 Perhitungan Susut Energi

### 2.7.1 Penghantar

Perhitungan susut energi pada penghantar lebih dulu dengan menghitung besarnya Resistansi total pada penghantar tersebut, rumus yang digunakan adalah dengan menggunakan hukum Ohm, sebagai berikut [9] :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (2.20)$$

Keterangan :

R = tahanan [ $\Omega$ ]                       $\rho$  = resistansi [ $\Omega \cdot m$ ]

L = panjang penghantar [m]    A = luas penampang penghantar [ $m^2$ ]

Dan perhitungan nilai daya pada penghantar adalah dengan menggunakan rumus berikut [5] :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \quad (2.21)$$

Keterangan :

P = daya pada penghantar [kW]

R = resistansi total penghantar [ $\Omega$ ]

I = arus beban rata – rata [A]

Sehingga kesimpulannya bahwa nilai susut energi akan bertambah dengan besarnya  $\rho$  (*Resistansi*), dan bertambahnya L (*Panjang Penghantar*),

sedangkan susut energi akan menurun dengan kenaikan A (*Luas Penampang*). Sedangkan besarnya nilai susut energi dalam kwh nya tiap bulan adalah [5]:

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \quad (2.22)$$

### 2.7.2 Transformator Daya

Rugi-rugi (*losses*) trafo secara sederhana ditulis dengan persamaan [5]:

$$P(\text{losses}) = P_o + A^2 P_b \quad (2.23)$$

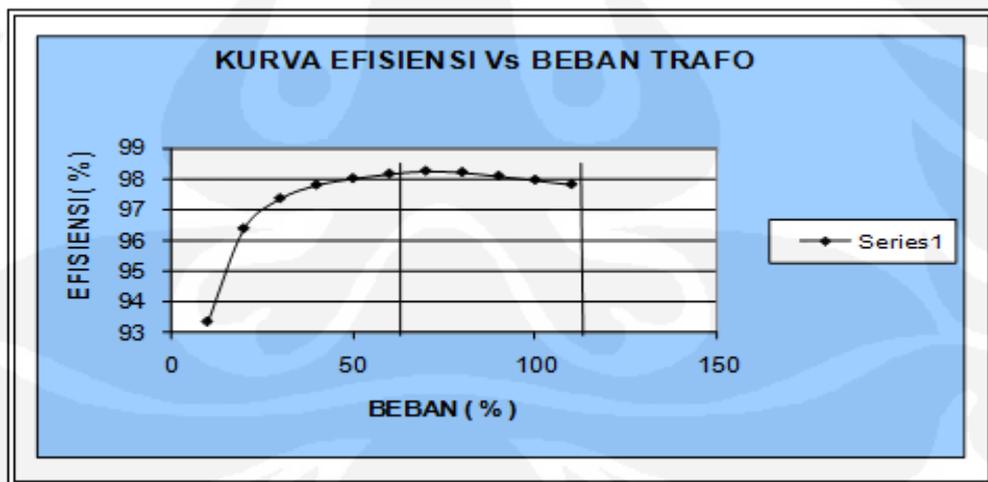
Keterangan :

$P_o$  = rugi-rugi beban nol

$P_b$  = rugi-rugi akibat adanya transfer energi dari sisi primer ke sekunder (*impedance loss*) yang besarnya tergantung pada pembebanan trafo.

A = faktor pembebanan = beban / beban nominal

Jika trafo kemudian dibebani terus maka rugi-rugi (*losses*) akan mempunyai rugi-rugi dengan karakteristik efisiensi penyaluran daya Vs pembebanan trafo sebagai berikut :



Gambar 2.11 Kurva efesiensi trafo [5]

Persamaan empirik untuk kurva efisiensi vs pembebanan diatas adalah [5]:

$$\eta = 100 \% - (( P_o + A^2 \cdot P_b ) / ( A \cdot P_n \cdot \text{Cos } \varphi + P_o )) 100 \% \quad (2.24)$$

## 2.8 Evaluasi Biaya Pada Saluran Distribusi

Dalam sebuah perhitungan biaya suatu penyulang dapat dengan menggunakan sebuah skenario. Skenario ini dapat digunakan pada setiap penyulang, dimana biaya tersebut meliputi biaya Investasi pembangunan penyulang, biaya susut energi  $I^2 R$  pada penghantar, dan biaya, biaya perawatan komponen. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$TAC = AIC + AEC + ADC \quad (2.25)$$

Keterangan :

$TAC = Total\ annual\ equivalent\ cost\ of\ feeder$  (total biaya penyulang per tahun) [Rp/Km].

$AIC = Annual\ equivalent\ of\ investment\ cost\ of\ installed\ feeder$  (biaya Investasi pembangunan penyulang per tahun) [Rp/Km].

$AEC = Annual\ equivalent\ of\ energy\ cost\ due\ to\ I^2 R\ losses\ in\ feeder\ conductor$  (biaya susut energi  $I^2 R$  pada penghantar pertahun) [Rp/Km].

$ADC = Annual\ equivalent\ cost\ of\ demand\ cost\ incurred\ to\ maintain\ adequate\ system\ capacity\ to\ supply\ feeder\ I^2 R\ losses\ in\ feeder\ conductor$  [Rp/Km].

### 2.8.1 Annual Equivalent Of Investment Cost (AIC)

*Annual equivalent of investment cost* (AIC) adalah total biaya penyulang per tahun yang dapat dirumuskan sebagai berikut [3] :

$$AIC = IC_f \times i_f \quad (2.26)$$

Keterangan :

$AIC = Annual\ equivalent\ of\ investment\ cost\ of\ installed\ feeder$  (biaya Investasi pembangunan penyulang per tahun) [Rp/Km]

$IC_f = \text{Cost of Installed Feeder}$  (biaya Investasi pembangunan penyulang)  
[Rp/Km]

$i_f = \text{Annual fixed charge rate applicable to feeder}$

### 2.8.2 Annual Equivalent Of Energy Cost (AEC)

AEC (*Annual equivalent of energy cost due to  $I^2 R$  losses in feeder conductor*) adalah biaya energi susut energi  $I^2 R$  pada penghantar pertahun. Dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$AEC = 3 \cdot I^2 R \times EC \times F_{LL} \times L_s \times 8760 \quad (2.27)$$

Keterangan :

AEC = *Annual equivalent of energy cost due to  $I^2 R$  losses in feeder conductor* (biaya energi susut daya  $I^2 R$  pada penghantar pertahun)  
[Rp/Km]

EC = Biaya energi per kWh [Rp/kWh]

$F_{LL}$  = Faktor lokasi Beban

$L_s$  = Faktor Losses (susut Energi)

### 2.8.3 Faktor Lokasi Beban

Faktor Lokasi beban sebuah penyulang dengan diasumsikan dalam keadaan beban seimbang dapat ditentukan dengan rumus berikut [3]:

$$F_{LL} = \frac{s}{l} \quad (2.28)$$

Keterangan :

$F_{LL}$  = Faktor lokasi Beban dalam desimal

$l$  = Panjang total penyulang [Km]

$s$  = Jarak letak titik yang telah diasumsikan sebagai titik dalam perhitungan susut energi [Km]

#### 2.8.4 Faktor Beban

Faktor Beban merupakan perbandingan dari nilai kebutuhan rata – rata dengan nilai kebutuhan maksimum., merupakan satuan desimal. Ditentukan dengan rumus berikut [3]:

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}} \quad (2.29)$$

Perlu dicatat bahwa faktor beban tersebut berdasarkan interval waktu yang sama dan telah ditentukan.

#### 2.5.5 Faktor Losses

Faktor *Losses* adalah merupakan faktor kerugian dari suatu penyulang. Definisinya merupakan perbandingan dari Jumlah susut energi total pada perioda tertentu dengan nilai kerugian maksimum pada perioda tersebut [5].

Menurut ahli Inggris nilainya adalah sebagai berikut :

$$L_s = 0,2L_f + 0,8(L_f)^2 \quad (2.30)$$

Menurut ahli Australia nilainya adalah sebagai berikut :

$$L_s = 0,24L_f + 0,8(L_f)^2 \quad (2.31)$$

Menurut ahli amerika pada kota nilai factor Losses nilainya adalah sebagai berikut :

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \quad (2.32)$$

Sedangkan untuk desanya adalah sebagai berikut :

$$L_s = 0,16L_f + 0,84(L_f)^2 \quad (2.33)$$

## 2.9 Forecasting

*Forecasting* adalah ilmu mengenai peramalan (perkiraan) mengenai sesuatu yang belum terjadi, untuk segala hal yang bersifat dinamis yang berubah-ubah maka ilmu ini perlu digunakan untuk melakukan suatu arah perencanaan kedepan.

### 2.9.1 Forecasting Dengan *Smoothing*.

*Smoothing* adalah suatu metoda forecasting dengan cara mengambil nilai rata-rata pada perioda tertentu untuk menaksir/memperkirakan nilai tersebut pada perioda berikutnya.

#### 1. Forecast dengan metoda *single moving Averages*.

Cara membuat *Forecast* dengan menggunakan metoda *single moving Averages* sangatlah mudah dan sederhana. Andaikata kita gunakan cara 3 bulan. maka dengan metoda ini *forecast* bulan tersebut adalah sebesar rata-rata dari 3 bulan sebelumnya, dapat dirumuskan sebagai berikut [4]:

$$S_{t+1} = X_t + X_{t+1} + \dots + X_{t-n+1} \quad (2.35)$$

$$S_{t+1} = \frac{1}{n} \sum_{j=t-(n+1)}^t X_j \quad (2.36)$$

Keterangan :

$S_{t+1}$  = forecast untuk perioda ke  $t + 1$

$X_t$  = data pada perioda  $T$

$n$  = jangka waktu *moving averages*

### *Contoh*

Apabila 3 bulan moving averages, maka forecast bulan keempat adalah:

$$S_4 = \frac{X_3 + X_2 + X_1}{3}$$

### **2.10 Automatic Meter Reading (AMR)**

*Automatic Meter Reading (AMR)* adalah sistem pembacaan meter jarak jauh secara otomatis, terpusat dan terintegrasi dari ruang control melalui media komunikasi telepon public (PSTN), telepon seluler (GSM), PLC atau gelombang radio, menggunakan software tertentu tanpa terlebih dahulu melakukan pemanggilan (*dial up*) secara manual. Sistem AMR diterapkan pada pelanggan potensial dengan daya terpasang diatas > 200 kVA. Penggunaan sistem AMR pada skripsi ini salah satunya adalah untuk mengetahui pemakaian energi listrik total baik Waktu Beban Puncak (WBP) maupun Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) pada pelanggan PT. Multistrada Arah Sarana, sehingga hasil analisisnya lebih akurat dikarenakan data yang di ambil (*download*) di AMR yaitu tanggal 1 (satu) tiap bulannya. Sedangkan pada penyulang Leci sendiri pengambilan data kWhnya berdasarkan pembacaan secara manual yaitu tanggal 1 tiap bulannya, hal ini dikarenakan penyulang Leci masih memakai kWh meter elektro-mekanik.

Konfigurasi peralatan yang digunakan :

- a. Meter elektronik yang dipasang di pelanggan (gardu PLN)
- b. Modem dan saluran telepon
- c. Komputer yang terdapat diruang control

Dengan sistem AMR, pelanggan dapat mengetahui nilai dan karakteristik energi listrik yang dikonsumsi, sehingga dapat melakukan "*energy management*" untuk menghemat biaya listrik.

Keuntungan lain dalam penggunaan sistem AMR ini adalah :

- a. Pencatatan meter lebih akurat
- b. Proses penerbitan rekening lebih cepat
- c. Penggunaan energi listrik dapat terpantau
- d. Upaya peningkatan mutu pelayanan melalui data langsung penggunaan energi listrik yang dikonsumsi oleh pelanggan yang bersangkutan

Parameter-parameter pengukuran pada AMR diantaranya adalah:

- Energi
  - a. Energi aktif total (kWh) import/export
  - b. Energi reaktif total (kWh) import/export
  - c. Energi aktif setiap phase
  - d. Energi reaktif setiap phase
- Parameter instantuous
  - a. Tegangan setiap phase
  - b. Arus setiap phase
  - c. Faktor daya setiap phase
  - d. Frekuensi
  - e. Daya aktif (Watt) setiap phase
  - f. Daya reaktif (Var) setiap phase
  - g. Daya (VA) setiap phase
  - h. kVA Max

Jenis software dan hardware pendukung AMR pada Area Pelayanan dan Jaringan Bekasi, memakai Meter Wilis DEM E3201 yang dibeli dari *PT. FLASH MOBILE INDONESIA* selaku penyedia dan maintenance AMR, yang didesign untuk pengukuran langsung dan tak langsung menggunakan CT (*Current Transformer*) pada jaringan 3 phase 4 kawat tegangan rendah.

Spesifikasi Wilis DEM E3201 yaitu:

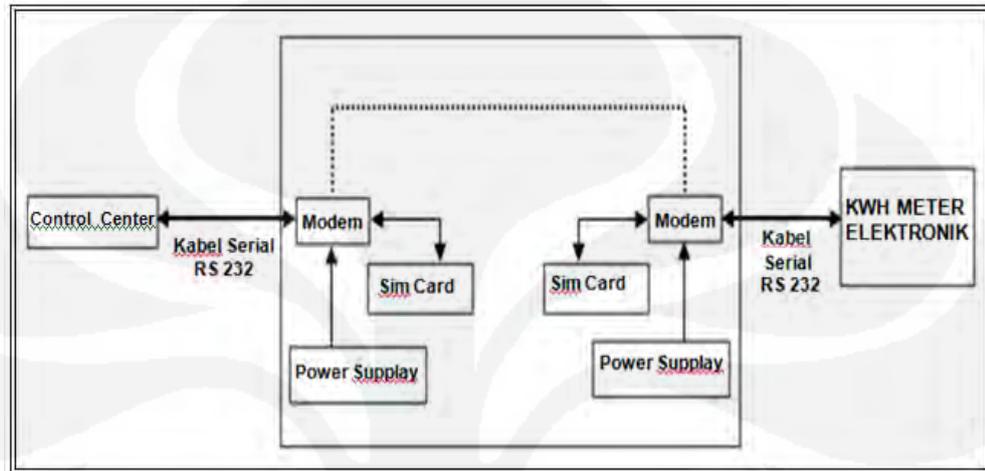
- a. Tegangan kerja : 230 V/400 V
- b. Arus : 5(20) A
- c. Kelas Akurasi : Kelas 1.0
- d. Frekuensi : 50 Hz
- e. Pengukuran : 3 - phase 4 – kawat

Fitur dan kelebihan dari Wilis DEM E3201 :

- a. Pengukuran langsung dan tidak langsung
- b. Mengukur kWh dan kVARh total dan setiap phase
- c. Mengukur parameter instaneous
- d. Display menggunakan LCD 2X20 karakter dengan backlite
- e. Clock internal dan kalender dengan battery backup
- f. *Non Volatile Memory* (NVM) menggunakan EEPROM
- g. Multi tariff
- h. Komunikasi menggunakan DPLC modem internal dan RS 232
- i. Menyimpan *load profile, event log* dan *billing history*
- j. Deteksi tampering
- k. Fasilitas tusbung internal
- l. *Short massege system*
- m. Akurasi kelas 0.5 sampai dengan 1.0
- n. Design dengan sekuriti tinggi

Perinsip kerja dari *Automatic Meter Ready* (AMR) adalah hampir sama dengan sistem komunikasi pada *seluler* pada umumnya , tetapi bedanya adalah data dari hasil pengukuran pada kWh meter elektronik akan tersimpan pada memori kWh meter elektronik (EEPROM) selama 10 bulan, setelah itu akan terhapus dengan sendirinya (*reset*) dan sifatnya akan ready, bila sewaktu-waktu datanya akan diambil. Modem pemanggil (*Control Center*) beserta perangkat pendukungnya yaitu *SIM Card, antenna* dan *power supplay*. Sedangkan modem penerima (Meter) beserta perangkat pendukungnya yaitu *SIM Card, antenna, dan power supply*. Bila user membutuhkan data kWh meter elektronik pada pelanggan tertentu, maka user tinggal mengoperasikan software pada AMR saja, sehingga modem

pemanggil (*Control center*) akan memanggil modem penerima agar mentransfer data yang dibutuhkan oleh user dan setelah itu modem penerima akan mengirimkan data berupa frekuensi ke modem pemanggil dan setelah diterima maka modem pemanggil akan memproses frekuensi tadi menjadi data kembali sehingga bisa di baca oleh user.



Gambar.2.12 Prinsip kerja *Automatic Meter Ready* [6]

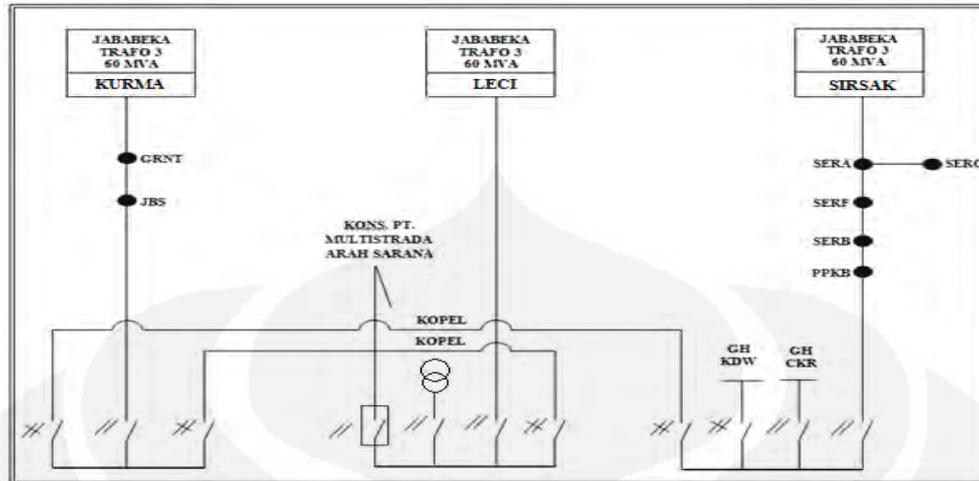
## **BAB III**

### **DATA PERHITUNGAN DAN ANALISIS**

#### **3.1 Spesifikasi Objek Studi**

##### **3.1.1 Penyulang Leci**

Studi yang dilakukan adalah studi susut energi pada sebuah penyulang, yaitu penyulang Leci, nama ini merupakan identifikasi nama penyulang dari UPJ Prima Bekasi berdasarkan nama buah. Data spesifikasi objek studi ini didapatkan berdasarkan data-data dari UPJ Prima dan UPD Bekasi. Karena secara lokasi letak penyulang ini adalah dikawasan industri yaitu di Kabupaten bekasi, dengan berpangkal atau mengambil sumber dari Gardu Induk Jababeka dengan pelanggannya yaitu PT. Multistrada Arah Sarana. Penyulang Leci adalah penyulang yang mempunyai konfigurasi berbentuk *loop* atau paralel, dimana penyulang ini merupakan penyulang (*feeder*) khusus APJ Bekasi. Sehingga penyulang ini harus selalu diperhatikan keandalan pasokan energi listriknya. Sebagai alternatif *manuver*, penyulang ini di dukung oleh dua buah penyulang yaitu Sirsak dan Kurma dengan pusat *manuver* digardu MLST. Tujuannya adalah agar memudahkan proses *manuver* (memindahkan atau memasukan) beban dari penyulang lain dalam hal ini penyulang Sirsak dan Kurma, bila terjadi gangguan pada penyulang Leci. Inilah salah satu kelebihan dari sistem konfigurasi jaringan *loop* atau paralel, bila salah satu penyulang terjadi gangguan, maka penyulang lain akan mengisi beban gardu distribusi yang tidak terganggu pada penyulang tersebut, sehingga tidak terlalu lama padam (SAIDI dan SAIFI bisa ditekan).



Gambar 3.1. Single line penyulang LECI [9]

Penyulang Leci mempunyai panjang keseluruhan penyulang sepanjang 18.100 m atau 18,1 km dari Gardu Induk Jababeka sampai ke ujung gardu distribusi MLST, dengan diameter penghantar  $300 \text{ mm}^2$  maksudnya adalah beban maksimal yang mengalir pada penghantar tersebut antara 0 – 400 Ampere. Penyulang ini memakai jenis penghantar kabel bawah tanah (SKTM), Sehingga karakteristiknya akan berbeda dengan SUTM. Penyulang ini hanya memiliki satu beban pelanggan yaitu PT. Multistrada Arah Sarana yang mengambil sumber dari gardu distribusi MLTS, dengan daya yang terpasang adalah 13.015 kVA sehingga daya yang terukur diperkirakan sekitar 11.700 kW. Pada penyulang Leci, terdapat alat transaksi pengukuran (kWh meter) antara PLN Distribusi Bekasi dengan PLN Transmisi Regional Jawa Barat dan Banten (P3B), dimana kWh meter ini terpasang di PMT Gardu Induk Jababeka. Jenis kWh meter ini adalah elektromekanik dengan kelas meter 1.0 maksudnya adalah toleransi error kWh meter yang diperbolehkan sekitar  $\pm 0 - 5 \%$ . CT (*Current Transformer*) yang terpasang adalah 400/1 Ampere, itu berarti rasio CT yang dihasilkan adalah 400, sedangkan VT (*Voltage Transformer*) yang terpasang 20.000/100, artinya adalah bahwa tegangan sekunder yang diperbolehkan maksimal 100 V dan tegangan primer nominal 20.000 kV. Dari hasil pengukuran bersama tim P2TL UPJ Prima Bekasi, didapatkan deviasi error pengukuran kWh meter penyulang Leci terhadap beban primer sebesar 1.37 %, hal ini membuktikan bahwa kWh meter pada penyulang Leci tersebut masih akurat dan mengukur sesuai dengan kelasnya. Sedangkan

ratio CT terukur fasa R= 393,3; S= 394,98; T= 393,12. Ini berarti CT yang terukur pada kubikel penyulang Leci masih sesuai dengan ratio CT yang terpasang (ratio CT terpasang 400). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada table dibawah ini.

Tabel. 3.1 Data penyulang Leci di gardu induk Jababeka

DATA PENYULANG	
Gardu induk	: Jababeka
Nama penyulang	: Leci
Alamat	: Kawasan Jababeka - Cikarang baru
Jumlah konsumen	: 1 ( satu )
Panjang penyulang	: 18.100 meter
Jenis kawat	: AL - 300
Beban terpasang	: 11.700 kW
CT	: 400 / 1 A
PT	: 20.000 / 100 V
Ratio CT terpasang	: 400
Faktor kali	: X 80.000
DATA KWH METER	
Jenis kWh meter	: Elektro - Mekanik
No. pabrik	: 12286616
Type	: MDV 601 UTR
Tegangan	: 3 X 57 / 100 V
Arus	: 3 X 5 ( 10 ) A
Konstanta	: 12.000 Rad / kWh
Kelas meter	: 1.0
Segel tera tahun	: 2001
DATA PENGUKURAN	
Tegangan primer	: R = 20,1 kV ; S = 20,1 kV ; T = 20,3 kV
Tegangan sekunder	: R = 58,31 V ; S = 58,03 V ; T = 58,60 V
Arus primer	: R = 207 A ; S = 227 A ; T = 208 A
Arus sekunder	: R = 1,90 A ; S = 1,74 A ; T = 1,89 A
Cos $\theta$	: 0,93
N putaran	: 2 kali
Waktu	: 6,80 detik
Daya terukur	: 7.058,82 kW
Daya sebenarnya	: 6.962,91 kW
Deviasi error	: 1,37 % ( Pengukuran baik )
Ratio CT terukur	: R = 393,3 ; S = 394,98 ; T = 393,12

### 3.1.2 PT. Multistrada Arah Sarana

PT. Multistrada Arah Sarana adalah sebuah perusahaan yang memproduksi roda mobil (ban), sehingga fluktuasi beban yang dipakai tidak seimbang (*Unbalance Current*), hal ini dikarenakan perusahaan tersebut banyak memakai mesin-mesin inject biji karet, yang mana membutuhkan banyak mesin-mesin pemanas. Pada PT. Multistrada Arah Sarana, terdapat alat transaksi pengukuran energi listrik/kWh meter antara PLN Distribusi Bekasi dengan PT. Multistrada Arah Sarana sebagai konsumen. Dimana kWh meter ini terpasang di gardu distribusi MLST dengan daya yang terpasang adalah 13.015 kVA sehingga daya yang terukur diperkirakan sekitar 11.700 kW. Jenis kWh meter ini adalah elektronik dengan kelas meter 0,5 maksudnya adalah toleransi error kWh meter yang diperbolehkan sekitar  $\pm 0 - 2 \%$ . CT (*Current Transformer*) yang terpasang adalah 400/5 Ampere, itu berarti rasio CT yang dihasilkan adalah 80, sedangkan VT (*Voltage Transformer*) yang terpasang 20.000/100, artinya adalah bahwa tegangan sekunder yang diperbolehkan maksimal 100 V dan tegangan primer nominal 20.000 kV. Dari hasil pengukuran bersama tim P2TL UPJ Prima Bekasi, didapatkan deviasi error pengukuran kWh meter gardu distribusi MLST terhadap beban primer sebesar 1.23 %, hal ini membuktikan bahwa kWh meter pada gardu MLST tersebut masih akurat dan mengukur sesuai dengan kelasnya. Sedangkan ratio CT terukur yang dihasilkan dari perbandingan arus sisi primer dengan sisi sekunder fasa R= 74,53 S= 71,95 T= 68,84. Ini berarti CT yang terukur pada gardu MLST tersebut masih sesuai dengan ratio CT yang terpasang (ratio CT terpasang 80). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada table dibawah ini.

Tabel.3.2 Data PT. Multistrada Arah Sarana di gardu MLST

DATA PELANGGAN	
No. pelanggan	: 537715024895
Nama pelanggan	: PT. Multi Strada Arah Sarana
Alamat	: Jl. Kedung Waringin - Lm.Abang
Produksi	: Roda mobil
Shift kerja	: 3 Shift
Tarif/Daya	: 13 / 13.015 kVA
Gardu	: MLST
CT	: 400 / 5 A
PT	: 20.000 / 100 V
Ratio CT terpasang	: 80
Faktor kali	: X 16.000
DATA KWH METER	
Jenis kWh meter	: Meter Elektronik
No. pabrik	: 204049288
Type	: EDM1 N680
Tegangan	: 3 X 57 / 120 V
Arus	: 3 X 5 ( 6 ) A
Konstanta	: 10.000 Impulse/kWh
Kelas meter	: 0.5
Segel tera tahun	: 2005
DATA PENGUKURAN	
Tegangan primer	: R = 18,94 kV ; S = 19,26 kV ; T = 19,33 kV
Tegangan sekunder	: R = 54,7 V ; S = 55,6 V ; T = 55,8 V
Arus primer	: R = 199 A ; S = 195 A ; T = 190 A
Arus sekunder	: R = 2,67 A ; S = 2,71 A ; T = 2,76 A
Cos $\theta$	: 0,899
N pulsa	: 5 kali
Waktu	: 49 detik
Daya terukur	: 5.877,55 kW
Daya sebenarnya	: 5.813,33 kW
Deviasi error	: 1,23 % ( Pengukuran baik )
Ratio CT terukur	: R = 74,53 ; S = 71,95 ; T = 68,84

### 3.1.3 Penghantar

Penghantar yang digunakan pada penyulang Leci ini adalah kabel bawah tanah dengan type NA2XSERGbY. Jenis penghantar ini dipilih PLN yang dibeli dari perusahaan *PT. TRILISTRINDO PRATAMA*, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang distribusi *Jointing & terminaton cable*. Suhu pada lokasi

sepanjang penyulang tersebut rata rata adalah sebesar  $20^{\circ}$  C. sehingga tidak akan terlalu berpengaruh pada sistem.

### 3.1.4 Konektor.

Konektor yang dipakai adalah jenis LLC (*Live Line Connector*). Konektor ini dipasang dengan sistem jepitan dengan ulir sebagai tumpuan kencang (*tight*) atau tidaknya, dengan kata lain sempurna atau tidaknya kontak tersebut tergantung dari kekerasan pada waktu mengeraskan ulir tersebut.

### 3.1.5 Transformator Distribusi

Untuk transformator distribusi pada gardu MLST tidak ada, hal ini dikarenakan PT. Multistrada Arah Sarana adalah pelanggan TM/Tegangan Menengah dengan pengukuran TM, jadi tegangan keluaran (*outgoing*) dari gardu MLST adalah 20 kV. Sedangkan untuk transformator distribusi sendiri berada pada panel trafo PT. Multistrada Arah Sarana dengan jumlah trafo sebanyak 7 (tujuh) buah, dengan spesifikasi 5 x 20.000/230 Volt, daya 1000 kVA dan 2 x 20.000/380 Volt, daya 630 kVA. Untuk transformator distribusi ini tidak akan dibahas, hal ini dikarenakan lokasinya berada pada panel pelanggan dan adanya keterbatasan data yang diperoleh.

## 3.2 Perhitungan Susut Energi

### 3.2.1 Susut Energi Total Perbulan

#### 1. Bulan Januari 2009

Besarnya susut energi pada bulan Januari 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.837.000 - 3.762.552,91 \\ &= 74.447,09 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Januari 2009 adalah 74.447,09 kWh

2. Bulan Februari 2009

Besarnya susut energi pada bulan februari 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.640.000 - 3.571.798,58 \\ &= 68.201,42 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Februari 2009 adalah 68.201,42 kWh.

3. Bulan Maret 2009

Besarnya susut energi pada bulan Maret 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.874.000 - 3.786.097,90 \\ &= 87.902,10 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Maret 2009 adalah 87.902,10 kWh.

4. Bulan April 2009

Besarnya susut energi pada bulan April 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.928.000 - 3.857.075,22 \\ &= 70.924,78 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan April 2009 adalah 70.924,78 kWh.

5. Bulan Mei 2009

Besarnya susut energi pada bulan Mei 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.781.000 - 3.703.469,50 \\ &= 77.530,50 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Mei 2009 adalah 77.530,50 kWh.

6. Bulan Juni 2009

Besarnya susut energi pada bulan Juni 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Juni 2009 adalah 79.001,18 kWh.

7. Bulan Juli 2009

Besarnya susut energi pada bulan Juli 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Juli 2009 adalah 79.001,18 kWh.

8. Bulan Agustus 2009

Besarnya susut energi pada bulan Agustus 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Agustus 2009 adalah 79.001,18 kWh.

9. Bulan September 2009

Besarnya susut energi pada bulan September 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan September 2009 adalah 79.001,18 kWh.

10. Bulan Oktober 2009

Besarnya susut energi pada bulan Oktober 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Oktober 2009 adalah 79.001,18 kWh.

11. Bulan November 2009

Besarnya susut energi pada bulan November 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan November 2009 adalah 79.001,18 kWh.

12. Bulan Desember 2009

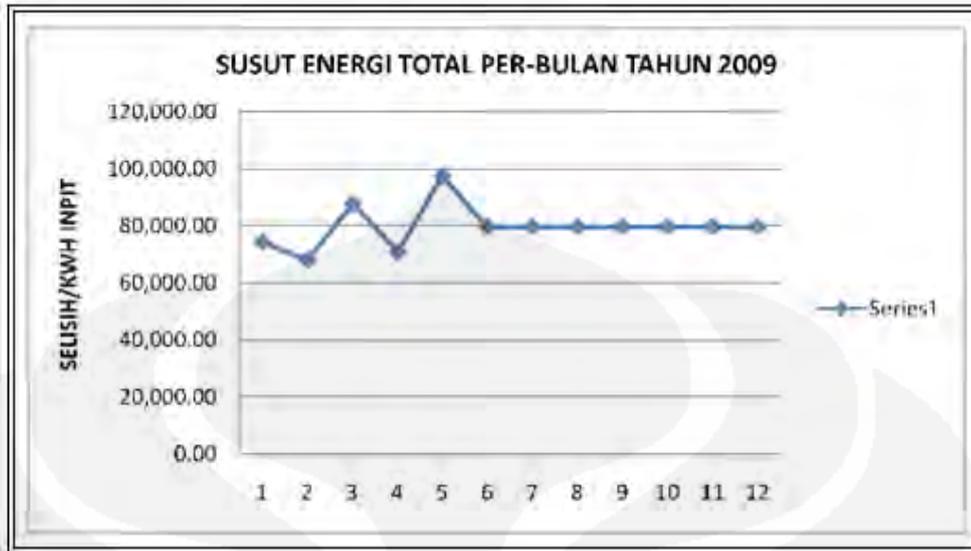
Besarnya susut energi pada bulan Desember 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{kWh Input} - \text{kWh Output} \\ &= 3.812.000 - 3.732.998,82 \\ &= 79.001,18 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Desember 2009 adalah 79.001,18 kWh.

Tabel 3.3 Perkiraan susut energi total per-bulan tahun 2009

NO	BULAN	PENYULANG (KWH)	KONSUMEN (KWH)	SUSUT ENERGI TOTAL (KWH INPUT)	PERSENTASE (%)
1	Jan-09	3,837,000	3,762,552.91	74,447.09	1.94
2	Feb-09	3,640,000	3,571,798.58	68,201.42	1.87
3	Mar-09	3,874,000	3,786,097.90	87,902.10	2.27
4	Apr-09	3,928,000	3,857,075.22	70,924.78	1.81
5	May-09	3,901,000	3,803,469.50	97,530.50	2.50
6	Jun-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
7	Jul-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
8	Aug-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
9	Sep-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
10	Oct-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
11	Nov-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
12	Dec-09	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	2.08
				<b>957,614.13</b>	<b>2.08</b>



Gambar 3.2 Grafik susut energi total per-bulan tahun 2009

### 3.2.2 Susut Energi Pada Penghantar

Besarnya Resistansi tipe kabel NA2XSERGbY pada penyulang Leci (l = 18.100 m) ini adalah sebagai berikut [7]:

$$P = 0,125 \Omega/\text{Km}$$

Maka besar R keseluruhan adalah :

$$\begin{aligned} R &= 0,125 \Omega \times 18,1 \text{ Km} \\ &= 2,2625 \Omega \end{aligned}$$

Sehingga untuk besar susut energi pada jaringan tiap bulannya adalah sebagai berikut :

1. Bulan Januari 2009

Besarnya susut energi pada bulan Januari 2009 adalah :

$$\begin{aligned} P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\ &= (230)^2 \times 2,2625 \\ &= 119.686,25 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned} L_f &= \frac{230}{270} \\ &= 0,85 \end{aligned}$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0,76$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 119.686,25 \times 0,76 \times 720$$

$$= 65.492,32 \text{ kWh.}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Januari 2009 adalah 65.492,32 kWh.

## 2. Bulan Februari 2009

Besarnya susut energi pada bulan Februari 2009 adalah :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3}$$

$$= (225)^2 \times 2,2625$$

$$= 114.539,06 \text{ Watt}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$L_f = \frac{225}{270}$$

$$= 0,83$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0,73$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 114.539,06 \times 0,73 \times 720$$

$$= 60.201,73 \text{ kWh.}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Februari 2009 adalah 60.201,73 kWh.

## 3. Bulan Maret 2009

Besarnya susut energi pada bulan Maret 2009 adalah :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3}$$

$$= (240)^2 \times 2,2625$$

$$= 130.320 \text{ Watt}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$L_f = \frac{240}{270}$$

$$= 0,89$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0,82$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 130.320 \times 0,82 \times 720$$

$$= 76.940,93 \text{ kWh.}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Maret 2009 adalah 76.940,93 kWh.

#### 4. Bulan April 2009

Besarnya susut energi pada bulan April 2009 adalah :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3}$$

$$= (225)^2 \times 2,2625$$

$$= 114.539,06 \text{ Watt}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$L_f = \frac{225}{270}$$

$$= 0,83$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0,73$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 114.539,06 \times 0,73 \times 720$$

$$= 60.201,73 \text{ kWh.}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan April 2008 adalah 60.201,73 kWh.

5. Bulan Mei 2008

Besarnya susut energi pada bulan Mei 2009 adalah :

$$\begin{aligned}P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\ &= (250)^2 \times 2,2625 \\ &= 141.406,25 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned}L_f &= \frac{250}{270} \\ &= 0,93\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_s &= 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \\ &= 0,88\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\ &= 141.406,25 \times 0,88 \times 720 \\ &= 89.595 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Mei 2009 adalah 89.595 kWh.

6. Bulan Juni 2009

Besarnya susut energi pada bulan Juni 2009 adalah :

$$\begin{aligned}P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\ &= (234)^2 \times 2,2625 \\ &= 123.885.45 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned}L_f &= \frac{234}{270} \\ &= 0,86\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_s &= 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \\ &= 0,78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
 &= 123.885.45 \times 0,78 \times 720 \\
 &= 69.574,06 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Juni 2009 adalah 69.574,06 kWh.

7. Bulan Juli 2009

Besarnya susut energi pada bulan Juli 2009 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\
 &= (234)^2 \times 2,2625 \\
 &= 123.885.45 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned}
 L_f &= \frac{234}{270} \\
 &= 0,86
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_s &= 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \\
 &= 0.78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
 &= 123.885.45 \times 0,78 \times 720 \\
 &= 69.574,06 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Juli 2009 adalah 69.574,06 kWh.

8. Bulan Agustus 2009

Besarnya susut energi pada bulan Agustus 2009 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\
 &= (234)^2 \times 2,2625 \\
 &= 123.885.45 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$L_f = \frac{234}{270}$$

$$= 0,86$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0.78$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 123.885.45 \times 0,78 \times 720$$

$$= 69.574,06 \text{ kWh.}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Agustus 2009 adalah 69.574,06 kWh.

#### 9. Bulan September 2009

Besarnya susut energi pada bulan September 2009 adalah :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3}$$

$$= (234)^2 \times 2,2625$$

$$= 123.885.45 \text{ Watt}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$L_f = \frac{234}{270}$$

$$= 0,86$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0.78$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 123.885.45 \times 0,78 \times 720$$

$$= 69.574,06 \text{ kWh.}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Juni 2009 adalah 69.574,06 kWh.

10. Bulan Oktober 2009

Besarnya susut energi pada bulan Oktober 2009 adalah :

$$\begin{aligned}P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\ &= (234)^2 \times 2,2625 \\ &= 123.885.45 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned}L_f &= \frac{234}{270} \\ &= 0,86\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_s &= 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \\ &= 0.78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\ &= 123.885.45 \times 0,78 \times 720 \\ &= 69.574,06 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Oktober 2009 adalah 69.574,06 kWh.

11. Bulan November 2009

Besarnya susut energi pada bulan November 2009 adalah :

$$\begin{aligned}P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\ &= (234)^2 \times 2,2625 \\ &= 123.885.45 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned}L_f &= \frac{234}{270} \\ &= 0,86\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_s &= 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \\ &= 0.78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
 &= 123.885.45 \times 0,78 \times 720 \\
 &= 69.574,06 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan November 2009 adalah 69.574,06 kWh.

#### 12. Bulan Desember 2009

Besarnya susut energi pada bulan Desember 2009 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \\
 &= (234)^2 \times 2,2625 \\
 &= 123.885.45 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$\begin{aligned}
 L_f &= \frac{234}{270} \\
 &= 0,86
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_s &= 0,3L_f + 0,7(L_f)^2 \\
 &= 0,78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
 &= 123.885.45 \times 0,78 \times 720 \\
 &= 69.574,06 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penghantar dibulan Desember 2009 adalah 69.574,06 kWh.

Tabel 3.4 Perkiraan susut energi penghantar per-bulan tahun 2009

NO	Bulan	Masa Jenis ( $\Omega/\text{Km}$ )	Resistensi ( $\Omega$ )	Arus puncak (A)	Arus rata-rata (A)	Daya Nyata (Watt)	Lf	Ls	Susut Penghantar (KWH Output)
1	Jan-09	0.125	2.2625	270	230	119,686.25	0.85	0.76	65,492.32
2	Feb-09	0.125	2.2625	270	225	114,539.06	0.83	0.73	60,201.73
3	Mar-09	0.125	2.2625	270	240	130,320.00	0.89	0.82	76,940.93
4	Apr-09	0.125	2.2625	270	225	114,539.06	0.83	0.73	60,201.73
5	May-09	0.125	2.2625	270	250	141,406.25	0.93	0.88	89,595.00
6	Jun-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
7	Jul-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
8	Aug-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
9	Sep-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
10	Oct-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
11	Nov-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
12	Dec-09	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
<b>TOTAL ENERGI</b>									<b>839,450.13</b>



Gambar 3.3 Grafik susut energi penghantar per-bulan tahun 2009

### 3.2.3 Susut Eergi Lain

Susut energi lain, selain susut energi penghantar pada penyulang Leci ini kemungkinan terbesar dikarenakan :

1. Kualitas sambungan (*Connector Quality*)
2. Beban tidak seimbang (*Unbalance Current*)
3. Cos  $\phi$  tidak sempurna.
4. Susut non teknis.

Dari keempat penyebab kerugian diatas pada dasarnya, untuk pembahasan tidak akan dilakukan perhitungan satu persatu, karena dalam hal ini dibutuhkan data-data setiap fasanya, sedangkan dalam skripsi ini yang penulis dapatkan hanya data rata-rata. Jadi dalam hal ini penulis akan mengasumsikan keempat susut energi tersebut sebagai susut energi lain saja. Yang mana besarnya setiap bulan adalah sebagai berikut :

1. Bulan Januari 2009

Besarnya susut energi lain pada bulan Januari 2009 adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Susut energi lain} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\
 &= 74.447,09 - 65.492,32 \\
 &= 8.954,77 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi lain pada penyulang Leci dibulan Januari 2009 adalah 8.954,77 kWh.

2. Bulan Februari 2009

Besarnya susut energi pada bulan februari 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi lain} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 68.201,42 - 60.201,73 \\ &= 7.999,69 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi lain pada penyulang Leci dibulan februari 2009 adalah 7.999,69 kWh.

3. Bulan Maret 2009

Besarnya susut energi lain pada bulan Maret 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 87.902,10 - 76.940,93 \\ &= 10.961,17 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi lain pada penyulang Leci dibulan Maret 2009 adalah 10.961,17 kWh.

4. Bulan April 2009

Besarnya susut energi lain pada bulan April 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 70.924,78 - 60.201,73 \\ &= 10.723,05 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi lain pada penyulang Leci dibulan April 2009 adalah 10.723,05 kWh.

5. Bulan Mei 2009

Besarnya susut energi lain pada bulan Mei 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 97.530,50 - 89.595,00 \\ &= 7.935,50 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi lain pada penyulang Leci dibulan Mei 2009 adalah 7.935,50 kWh.

6. Bulan Juni 2009

Besarnya susut energi pada bulan Juni 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574,06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi lain pada penyulang Leci dibulan Juni 2009 adalah sebesar 10.227,12 kWh.

7. Bulan Juli 2009

Besarnya susut energi pada bulan Juli 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574,06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Juli 2009 adalah 10.227,12 kWh.

8. Bulan Agustus 2009

Besarnya susut energi pada bulan Agustus 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574,06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Agustus 2009 adalah 10.227,12 kWh.

9. Bulan September 2009

Besarnya susut energi pada bulan September 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574,06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan September 2009 adalah 10.227,12 kWh.

#### 10. Bulan Oktober 2009

Besarnya susut energi pada bulan Oktober 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574.06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Oktober 2009 adalah 10.227,12 kWh.

#### 11. Bulan November 2009

Besarnya susut energi pada bulan November 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574.06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan November 2009 adalah 10.227,12 kWh.

#### 12. Bulan Desember 2009

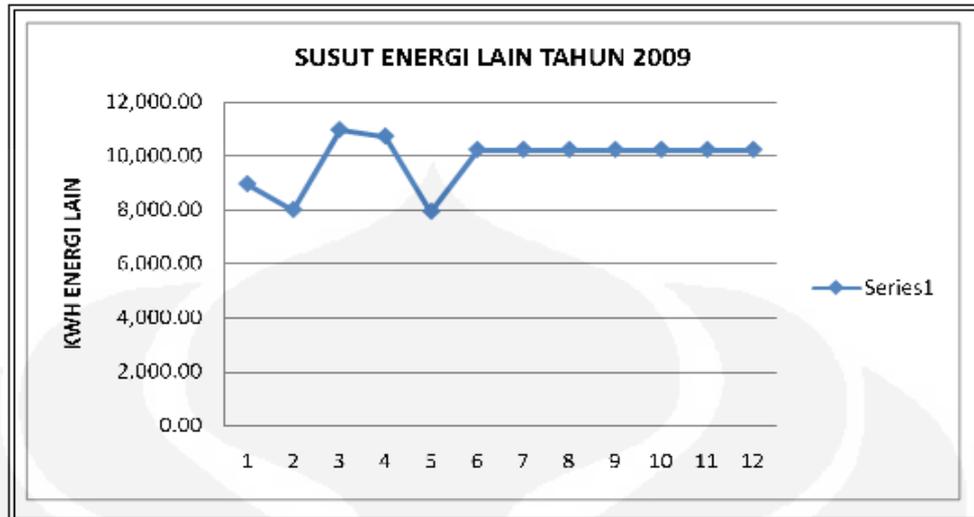
Besarnya susut energi pada bulan Desember 2009 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Susut energi total} &= \text{Susut Total} - \text{Susut Penghantar} \\ &= 79.801,18 - 69.574.06 \\ &= 10.227,12 \text{ kWh.}\end{aligned}$$

Jadi besar total susut energi pada penyulang Leci dibulan Desember 2009 adalah sebesar 10.227,12 kWh.

Tabel 3.5 Perkiraan susut energi lain per-bulan tahun 2009

NO	BULAN	KWH INPUT	KWH OUTPUT	SUSUT ENERGI LAIN	PERSENTASE (%)
1	Jan-09	74,447.09	65,492.32	8,954.77	12.03
2	Feb-09	68,201.42	60,201.73	7,999.69	11.73
3	Mar-09	87,902.10	76,940.93	10,961.17	12.47
4	Apr-09	70,924.78	60,201.73	10,723.05	15.12
5	May-09	97,530.50	89,595.00	7,935.50	8.14
6	Jun-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
7	Jul-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
8	Aug-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
9	Sep-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
10	Oct-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
11	Nov-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
12	Dec-09	79,801.18	69,574.06	10,227.12	12.82
<b>TOTAL ENERGI</b>				<b>118,164.01</b>	<b>12.43</b>



Gambar 3.4 Grafik susut energi lain per-bulan tahun 2009

Sebenarnya susut energi penyebab lainnya juga adalah susut energi pada transformator, tetapi pada kasus ini, hal tersebut tidak berlaku. Karena pada penyulang Leci ini transformator yang digunakan pada Gardu Distribusi MLST tidak ada, hal ini dikarenakan PT. Multistrada Arah Sarana adalah pelanggan TM (Tegangan Menengah) dengan pengukuran TM, sehingga tegangan output yang dihasilkan adalah 20 kV. Sehingga pada kasus ini susut energi pada Transformator ini tidak akan dibahas, karena kerugian pada transformator tersebut tidak berpengaruh pada PLN.

### 3.3. Analisis Data dan Perhitungan Susut Energi

#### 3.3.1. Analisis Data.

Data-data yang didapatkan adalah berasal dari catatan kerja UPJ Prima Bekasi dan UPD Bekasi dari bulan Januari 2009 sampai dengan Mei 2009. Sedangkan dalam hal ini penulis membutuhkan data untuk 1 tahun. Untuk itu maka pada bab 3 ini penulis melakukan sistem *Forecasting* 7 bulan selanjutnya, yaitu dari bulan Juni 2009 sampai dengan bulan Desember 2009 berdasarkan pada data dari bulan Januari 2009 sampai dengan bulan Mei 2009.

Sistem forecasting yang digunakan adalah sistem dengan metode *single moving Averages*, yang mana perhitungan untuk bulan Juni 2009 sampai dengan

Desember 2009 menggunakan perhitungan rata-rata dari data-data bulan Januari 2009 sampai dengan Mei 2009 adalah :

1. Arus puncak rata-rata :

$$I_{p_{average}} = \frac{270 + 270 + 270 + 270 + 270}{5}$$
$$= 270 \text{ A}$$

2. Arus rata-rata :

$$I_{average} = \frac{230 + 225 + 240 + 225 + 250}{5}$$
$$= 234 \text{ A}$$

3. Faktor Beban :

$$L_f = \frac{0,85 + 0,83 + 0,89 + 0,83 + 0,93}{5}$$
$$= 0,86$$

4. Faktor Losses :

$$L_s = \frac{0,76 + 0,73 + 0,82 + 0,73 + 0,88}{5}$$
$$= 0,78$$

5. kWh Input

$$kWh_{in} = \frac{3.837.000 + 3.640.000 + 3.874.000 + 3.928.000 + 3.901.000}{5}$$
$$= 3.836.000 \text{ kWh}$$

6. kWh Output

$$kWh_{out} = \frac{3.762.552,91 + 3.571.798,58 + 3.786.097,90 + 3.857.075,22 + 3.803.469,50}{5}$$
$$= 3.756.198,82 \text{ kWh}$$

Seperti yang terlihat, bahwa nilai-nilai yang ada pada data-data tersebut adalah tidak berubah secara dinamis. Nilainya cenderung stabil, nilai diatas adalah sama dengan nilai rata-rata tahun 2009. Nilai Arus puncak rata-rata pada tahun 2009 pada penyulang Leci ini adalah bernilai stabil seharga 270 A. Nilai kestabilannya disebabkan karena jenis beban pada penyulang Leci ini adalah Industri roda mobil (ban) yang fluktuasi bebannya tinggi. Sedangkan nilai arus rata-rata tiap bulannya adalah seharga 234 A, sebesar 86,66 % dari nilai beban

puncaknya. Nilai terbesar adalah pada bulan Oktober sebesar 250 A, hanya lebih besar 6 % dari nilai rata-ratanya.

Tabel 3.6 Hasil perhitungan *forecasting* untuk bulan Juni-Desember 2009

No	Bulan	Arus Puncak (A)	Arus rata - rata (A)	Lf	Ls	Kwh input	Kwh output
1	Jun-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
2	Jul-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
3	Aug-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
4	Sep-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
5	Oct-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
6	Nov-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
7	Dec-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82

### 3.3.2. Analisis Perhitungan.

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa rata-rata susut energi terbesar adalah pada penghantar dimana harga rata-ratanya adalah sebesar 88% dari nilai rata-rata susut energi totalnya. Sedangkan, untuk besar susut energi lain adalah sebesar 12% dari nilai rata-rata susut energi totalnya.

Besar susut energi total tahun 2009 adalah :

$$\begin{aligned} \text{Losses}_{\text{kWh total}} &= (74.447,09+68.201,42+87.902,10+70.924,78 +97.530,50 \\ &+79.801,18+79.801,18 +79.801,18+79.801,18+79.801,18 \\ &+79.801,18+79.801,18) \text{ kWh} = 957.614,13 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses}_{\text{kWh penghantar total}} &= (65.492,32+60.201,73+76.940,93+60.201,73+89.595 \\ &+69.574,06+69.574,06+69.574,06+69.574,06+69.574,06 \\ &+69.574,06+69.574,06) \text{ kWh} = 839.450,13 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses}_{\text{Lain total}} &= (8.954,77+7.999,69+10.961,17+10.723,05+7.935,50 \\ &+10.227,12+10.227,12+10.227,12+10.227,12+10.227,12 \\ &+10.227,12+10.227,12) \text{ kWh} = 118.164,00 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

Tabel 3.7 Susut energi bulan Januari - Desember penyulang Leci tahun 2009

No	Bulan	Arus	Arus	Lf	Ls	kWh Input	kWh Output	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi
		Puncak (A)	rata - rata (A)					Total (Kwh)	Penghantar (Kwh)	Lain (Kwh)
1	Jan-09	270	230	0.85	0.76	3,837,000	3,762,552.91	74,447.09	65,492.32	8,954.77
2	Feb-09	270	225	0.83	0.73	3,640,000	3,571,798.58	68,201.42	60,201.73	7,999.69
3	Mar-09	270	240	0.89	0.82	3,874,000	3,786,097.90	87,902.10	76,940.93	10,961.17
4	Apr-09	270	225	0.83	0.73	3,928,000	3,857,075.22	70,924.78	60,201.73	10,723.05
5	May-09	270	250	0.93	0.88	3,901,000	3,803,469.50	97,530.50	89,595.00	7,935.50
6	Jun-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
7	JuI-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
8	Aug-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
9	Sep-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
10	Oct-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
11	Nov-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
12	Dec-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
TOTAL ENERGI						46,032,000	45,074,385.87	957,614.13	839,450.13	118,164.01

Nilai susut energi maksimum adalah terjadi pada bulan Mei yaitu mencapai 97.530,50 kWh. Dan nilai terendah terjadi pada bulan Februari sebesar 68.201,42 kWh.

Untuk perhitungan susut energi pada penghantar dibutuhkan data-data faktor beban dan faktor losses tiap bulannya. Yang mana perhitungannya adalah berdasarkan nilai arus puncak dan nilai arus rata-rata pada periode yang sama, yaitu pada bulan yang sama.

Nilai faktor beban rata-rata tahun 2009 adalah sebesar 0,86. Nilai ini adalah nilai yang cukup besar, mengingat bahwa beban pada penyulang ini adalah beban yang bersifat kontinuitas yang tinggi. Dengan nilai faktor beban yang tinggi, maka akan semakin besar pula faktor kesalahannya (*Losses*), terlihat bahwa nilai rata-ratanya adalah sebesar 0,78 dan pernah mencapai angka 0,88 pada saat bulan Mei.

Besar susut energi pada penghantar dihitung berdasarkan rumus yang ada pada bab 2 tentang perhitungan susut energi pada penghantar. Mempunyai nilai rata-rata sebesar 69.574,06 kWh. *Losses* maksimumnya adalah sebesar 89.595,00 kWh, terjadi pada bulan Mei. Besar susut energi lain adalah nilai selisih antara susut energi total dan susut energi pada penghantar. susut energi tersebut antara lain meliputi :

1. Kualitas sambungan (*Connector Quality*).
2. Beban tidak seimbang (*Unbalance Current*).
3.  $\cos \phi$  tidak sempurna.
4. Susut non teknis.

Nilainya adalah sebesar 12% dari nilai susut energi total tahun 2009 keseluruhan penyulang. Yaitu sebesar 10.227,12 kWh. Sebenarnya susut energi penyebab lainnya juga adalah susut energi pada transformator, tetapi pada kasus ini hal ini tidak berlaku. Karena Untuk transformator distribusi pada gardu MLST tidak ada, hal ini dikarenakan PT. Multistrada Arah Sarana adalah pelanggan TM/Tegangan Menengah dengan pengukuran TM, jadi tegangan keluaran (*outgoing*) dari gardu MLST adalah 20 kV. Sedangkan untuk transformator distribusi sendiri berada pada panel trafo PT. Multistrada Arah Sarana dengan jumlah trafo sebanyak 7 (tujuh) buah, dengan spesifikasi 5 x 20.000/230 Volt, daya 1000 kVA dan 2 x 20.000/380 Volt, daya 630 kVA. Sehingga pada kasus ini, susut energi pada transformator ini tidak akan dibahas, karena kerugian pada transformator tersebut tidak berpengaruh terhadap PLN.

## BAB IV

### ALTERNATIF PERBAIKAN DAN EVALUASI BIAYA

#### 4.1 Alternatif Perbaikan

Berdasarkan perhitungan terlihat bahwa nilai susut energi terbesar adalah pada penghantar yaitu sebesar 88% dari nilai susut energi totalnya. Untuk itu, dalam permasalahan ini penulis lebih memberikan solusi dengan memprioritaskan solusi penurunan susut energi pada penghantar. Namun penulis juga akan memberikan solusi untuk penurunan susut energi pada susut energi lain pula dengan harga 12 % dari susut energi totalnya. Pada dasarnya penurunan susut energi pada penghantar berdasarkan rumusnya [5]:

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \quad (4.1)$$

Dapat diturunkan berdasarkan kedua besaran tersebut. Skenario pertama adalah dengan menurunkan Arus pada penghantar, selain itu skenario kedua yaitu dengan menurunkan harga resistansi.

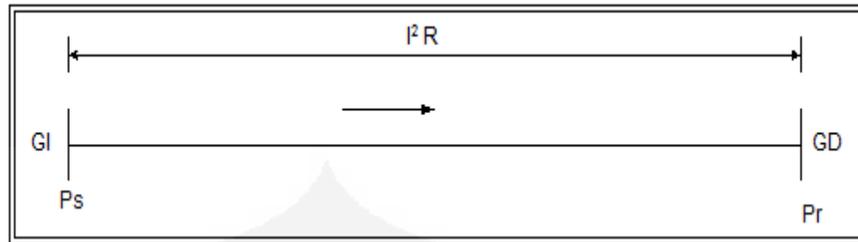
##### 4.1.1 Skenario 1 : Pembagian dan Penurunan Arus Penghantar Serta Penurunan Susut Energi Lain.

###### 1. Pembagian dan penurunan arus penghantar

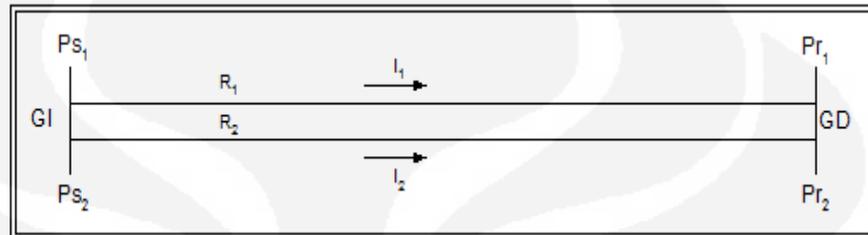
Pembagian penurunan arus penghantar dapat dilakukan dengan dua skenario diantaranya adalah :

###### a. Memparalelkan penghantar

Maksud dari skenario ini adalah dengan menambahkan penghantar baru yang bertipe sama, dengan spesifikasi yang sama. Dan memparalelkannya ke beban.



Gambar 4.1 Penyulang dengan satu penghantar [5]



Gambar 4.2 Penyulang dengan paralel penghantar [5]

dengan skenario ini maka arus akan terbagi dua dengan nilai yang sama,  $I_1 = I_2 = \frac{I}{2}$ . Sehingga besarnya susut energi pun akan berkurang. Terbukti pada perhitungan berikut :

- Bulan Januari 2009 :

$$I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = \frac{230}{2} = 115 \text{ A}$$

$$P_1 = 3 \times I^2 \times \frac{R_1}{3}$$

$$= (115)^2 \times 2,2625$$

$$= 29.921,56 \text{ Watt}$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 29.921,56 \times 0,76 \times 720$$

$$= 16.373,08 \text{ kWh.}$$

$$P_2 = 3 \times I_2^2 \times \frac{R_2}{3}$$

$$= (115)^2 \times 2,2625$$

$$= 29.921,56 \text{ Watt}$$

$$\begin{aligned}
P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
&= 29.921,56 \times 0,76 \times 720 \\
&= 16.373,08 \text{ kWh.}
\end{aligned}$$

Jumlah totalnya adalah :  $16.373,08 + 16.373,08 = 32.746,16$  kWh. Sebesar tepat setengah atau 50 % dari nilai sebelumnya yaitu 65.492,32 kWh. Kesimpulannya bahwa dengan skenario ini akan mengurangi nilai susut energi penghantar sebesar setengah dari nilai sebelumnya. Sehingga melalui perhitungan nilai susut energi penghantar, nilai total susut energi pada penghantar tahun 2009 dengan skenario ini adalah :

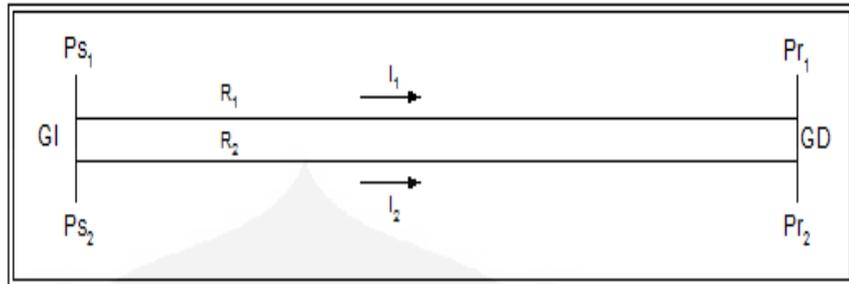
$$\frac{839.450,13 \text{ kWh}}{2} = 419.725,06 \text{ kWh.}$$

Tabel 4.1 Perkiraan susut penghantar melalui skenario paralel penghantar tahun 2009

NO	Bulan	Arus rata-rata (A)		Daya Nyata (Watt)		$L_f$	$L_i$	Susut penghantar (KWH)		Total (kWh)
		I1	I2	P1	P2			E1	E2	
1	Januari	115	115	29,921.56	29,921.56	0.85	0.76	16,373.08	16,373.08	32,746.16
2	Februari	112.5	112.5	28,634.77	28,634.77	0.83	0.73	15,050.43	15,050.43	30,100.87
3	Maret	120	120	32,580.00	32,580.00	0.89	0.82	19,235.23	19,235.23	38,470.46
4	April	112.5	112.5	28,634.77	28,634.77	0.83	0.73	15,050.43	15,050.43	30,100.87
5	Mei	125	125	35,351.56	35,351.56	0.93	0.88	22,398.75	22,398.75	44,797.50
6	Juni	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
7	Juli	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
8	Agustus	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
9	September	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
10	Oktober	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
11	November	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
12	Desember	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
TOTAL ENERGI								209,862.55	209,862.55	419,725.09

**b. Menaikkan tegangan sumber sebesar 1 kV.**

Maksud skenario ini adalah dengan menaikkan tegangan sumber dari Transformator Gardu Induk dari 20 kV menjadi 21 kV. Harga ini masih dalam toleransi SPLN 1 tahun 1978. Dapat dijelaskan sebagai berikut [9]:



Gambar 4.3 Penyulang dengan paralel penghantar [5]

$$P_{s1} = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (4.2)$$

$$P_{s2} = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (4.3)$$

$$I_1 = \frac{P_{s1}}{V_s \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_1} \quad (4.4)$$

$$I_2 = \frac{P_{s2}}{V_s \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_2} \quad (4.5)$$

Terlihat bahwa apabila nilai  $V_s$  naik maka arus akan turun, dengan diasumsikan  $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$ . berikut perhitungan riilnya :

▪ **Januari 2009**

$$\begin{aligned} P_{s1} = P_{s2} &= \sqrt{3} \times 20.000 \times 115 \times 0,93 \\ &= 3.704,75 \text{ kW.} \end{aligned}$$

Dengan menaikkan nilai tegangan sending menjadi 21.000 Volt, maka nilai arusnya akan menjadi :

$$\begin{aligned} I'_1 = I'_2 &= \frac{P_{s1}}{V_s \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_1} \\ &= \frac{3.704,75}{21 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,93} \\ &= 109,52 \text{ A.} \end{aligned}$$

Sehingga nilai susut energi penghantar pada bulan Januari 2009 adalah :

$$I'_1 = I'_2 = 109,52 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 3 \times I_1^2 \times \frac{R_1}{3} \\
 &= (109,52)^2 \times 2,2625 \\
 &= 27.137,85 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
 &= 27.137,85 \times 0,76 \times 720 \\
 &= 14.849,83 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 3 \times I_2^2 \times \frac{R_2}{3} \\
 &= (109,52)^2 \times 2.2625 \\
 &= 27.137,85 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Kwh} &= P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720 \\
 &= 27.137,85 \times 0,76 \times 720 \\
 &= 14.849,83 \text{ kWh.}
 \end{aligned}$$

Sehingga total susut energi pada penghantar : 14.849,83 kWh + 14.849,83 kWh = 29.699,66 kWh. Sebesar 45 % dari nilai totalnya yaitu 65.492,32 kWh. Berikut perhitungan susut energi penghantar pada tahun 2009 setelah melakukan kedua skenario tersebut :

$$P_{\text{penghantar}} = 0,45 \times 839.450,13 \text{ kWh} = 377,752,56 \text{ kWh}$$

Terlihat pada perhitungan, dengan kedua skenario tersebut ternyata dapat mengurangi susut energi penghantar total sebesar 55 %.

## 2. Penurunan susut energi lain dengan penggantian konektor

Penurunan susut energi lain adalah dengan menurunkan susut energi pada konektor. Untuk penurunan susut energi akibat  $\cos \phi$  tidak sempurna tidak dilakukan, hal ini dikarenakan  $\cos \phi$  yang sudah ada sudah dianggap sempurna yaitu sebesar 0,93. Selain itu penyeimbangan beban tidak dilakukan, karena beban terhubung langsung hal ini dikarenakan PT. Multistrada Arah Sarana adalah sebuah Industri ban/roda mobil yang kontinuitas bebannya tinggi. Namun dalam hal ini kedua poin tersebut tetap akan dimasukkan sebagai penyebab susut

energi lain. Untuk itu, maka solusi yang direkomendasikan adalah penggantian konektor .

▪ **Penggantian konektor.**

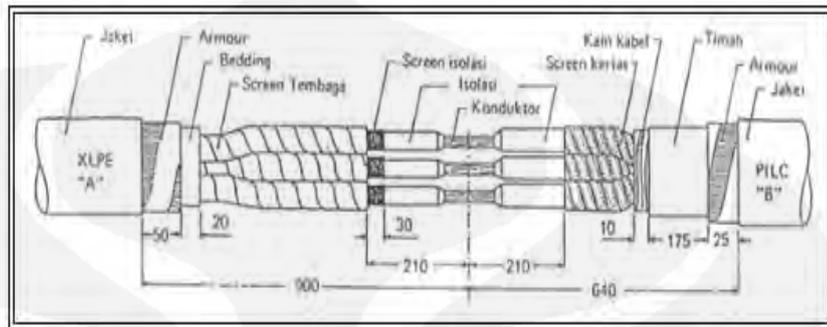
Pada penyulang Leci ada dua buah jenis konektor. Yaitu jointing box dan LLC (*Live Line Connector*). Untuk jointing box keakuratannya sudah sangat tinggi karena jointing box ini bertipe *compressed type*. Sehingga dalam hal ini tidak perlu diadakan perbaikan. Sedangkan untuk konektor LLC (*Live Line Connector*) perlu dilakukan perbaikan karena konektor ini dipasang dengan sistem jepitan dengan ulir sebagai tumpuan kencang (*Tight*) atau tidaknya, dengan kata lain sempurna atau tidaknya kontak tersebut tergantung dari kekerasan pada waktu mengeraskan ulir tersebut. Kelemahan konektor LLC (*Live Line Connector*) yang sering dijumpai dilapangan antara lain :

1. Tidak tahan terhadap arus hubung singkat (*Short Circuit*), dengan wujud percikan bunga api dan lama kelamaan terjadi loss kontak.
2. Pengadaan material tersebut sulit (saat ini)
3. Harga lebih mahal, sekitar US \$ 10.
4. Nilai lossesnya tinggi.

Untuk itu perlu dilakukan penggantian konektor. Dan dalam pembahasan ini yang direkomendasikan adalah konektor jenis LTC (*Line Tap Connector*). Konektor ini dipasang dengan sistem *compression*, dengan demikian memerlukan peralatan bantu (*Hydrolic Compression*). Dengan sistem press, konektor ini akan lebih terjamin nilai kesempurnaan kontakannya dan akan meminimalisasi nilai susut energi pada konektor tersebut. Keuntungan konektor LTC antara lain :

1. Dengan alat press (*Hydrolic Compression*) nilai kesempurnaan kontakannya akan lebih terjamin sehingga akan meminimalisasikan losses.

2. Bila sewaktu-waktu terjadi arus hubung singkat (*short circuit*) lebih tahan dibanding jenis LLC karena lebih baik.
3. Pengadaan barang tidak sulit.
4. Harga lebih murah



Gambar 4.4 Jenis jointing kabel menggunakan LTC [7]

Dari solusi tersebut penulis tidak dapat menghitung nilai kerugiannya secara riil sesuai dengan pembahasan skripsi penulis. Hal ini dikarenakan Untuk perhitungan susut energi pada konektor penulis tidak dapat menemukan literatur yang tetap. Untuk itu penulis dalam hal ini melakukan asumsi nilai pengurangan susut energi lain pada penghantar Leci pada tahun 2009. Penulis mengasumsikan bahwa penurunan susut energi yang dihasilkan adalah sebesar 50 % dari susut energi lain total satu tahun. Dimana nilainya adalah sebagai berikut :

$$50 \% \times 118.164,00 \text{ kWh} = 59.082 \text{ kWh.}$$

Sehingga besar susut energi lain adalah sebesar 59.082 kWh.

### 3. Total penurunan susut energi dengan skenario 1.

Nilai susut daya total sebelum dilakukan skenario ini adalah sebesar 957.614,13 kWh. Sedangkan nilai susut energi total setelah dilakukan skenario ini adalah = susut total penghantar setelah skenario + susut lain setelah skenario

$$= 377,752,56 \text{ kWh} + 59.082 \text{ kWh.}$$

$$= 436.834,56 \text{ kWh.}$$

Sehingga dengan metoda ini berhasil diturunkan susut energi sebesar :  
= 957.614,13 kWh - 436.834,56 kWh  
= 520.779,57 kWh

Sehingga dengan metoda ini berhasil diturunkan susut energi sebesar 54 %.

#### **4.1.2 Skenario 2 : Penurunan Nilai Resistansi Penghantar dan Penurunan Susut Energi Lain.**

##### **1. Penurunan nilai resistansi penghantar**

Skenario ini dimaksudkan untuk menurunkan nilai susut energi pada penghantar. Maksud dari skenario ini adalah dengan mengganti penghantar yang lama dengan penghantar yang baru dengan resistansi yang lebih kecil. Maksudnya adalah dengan menurunkan nilai resistansi pada penghantar maka nilai susut energi pada penghantar akan turun pula. Sesuai dengan rumus susut daya pada penghantar berikut :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3} \quad (4.6)$$

dapat terlihat bahwa nilai susut daya penghantar berbanding lurus dengan nilai resistansi penghantar. Semakin kecil resistansi pada penghantar, maka akan semakin kecil pula nilai susut daya pada penghantar. Dalam hal ini penulis mengambil solusi dengan mengganti tipe kabel NA2XSERGbY menjadi N2XSERGbY. Karena nilai resistansi N2XSERGbY lebih kecil daripada NA2XSERGbY, nilai resistansi tipe kabel N2XSERGbY adalah sebesar 0,0754  $\Omega$ /Km. Sehingga nilai totalnya adalah sebesar :

$$\begin{aligned} R &= 0,0754 \Omega \times 18,1 \text{ km} \\ &= 1,3647 \Omega \end{aligned}$$

Sehingga besarnya susut energi pada penghantar adalah :

- Bulan Januari 2009 :

$$P = 3 \times I^2 \times \frac{R}{3}$$

$$= (230)^2 \times 1,3647$$

$$= 72.192,63 \text{ Watt}$$

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{Puncak}}$$

$$L_f = \frac{230}{270}$$

$$= 0,85$$

$$L_s = 0,3L_f + 0,7(L_f)^2$$

$$= 0,76$$

$$P_{Kwh} = P_{SusutTotal} \times F_{LS} \times 720$$

$$= 72.192,63 \times 0,76 \times 720$$

$$= 39.503,81 \text{ kWh}$$

Terlihat bahwa nilainya lebih kecil dari pada kondisi sebelumnya, yang mana besarnya adalah 65.492,32 kWh. Jadi dengan skenario pertama ini susut energi berkurang sebesar 40 %. Sedangkan untuk nilai total susut energi penghantar penyulang Leci tahun 2009 dengan menggunakan skenario tersebut adalah :

$$60\% \times 839.450,13 \text{ kWh} = 503.670,08 \text{ kWh.}$$

## 2. Penurunan susut energi lain dengan penggantian konektor

Penurunan susut energi lain adalah dengan menurunkan susut energi pada konektor. Untuk penurunan susut energy daya akibat  $\cos \phi$  tidak sempurna tidak lakukan, hal ini dikarenakan  $\cos \phi$  yang sudah ada sudah dianggap sempurna yaitu sebesar 0,93. Selain itu penyeimbangan beban tidak dilakukan, karena beban terhubung langsung hal ini dikarenakan PT. Multistrada Arah Sarana adalah sebuah Industri roda mobil (ban) yang kontinuitas bebannya tinggi. Namun dalam hal ini, kedua poin tersebut tetap akan dimasukkan sebagai penyebab susut

energi lain. Maka dari itu maka solusi yang direkomendasikan adalah penggantian konektor .

▪ **Penggantian konektor.**

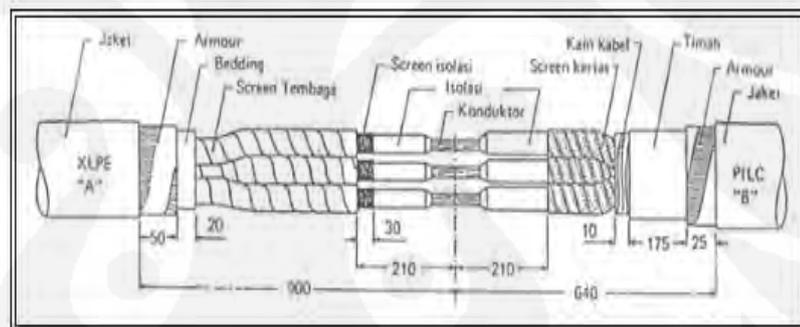
Pada penyulang Leci ada dua buah jenis konektor. Yaitu *Jointing Box* dan LLC (*Live Line Connector*). Untuk *jointing box* keakuratannya sudah sangat tinggi karena *jointing box* ini bertipe *compressed type*. Sehingga dalam hal ini tidak perlu diadakan perbaikan. Sedangkan untuk konektor LLC (*Live Line Connector*) perlu dilakukan perbaikan karena konektor ini dipasang dengan sistem jepitan dengan ulir sebagai tumpuan kencang (*Tight*) atau tidaknya, dengan kata lain sempurna atau tidaknya kontak tersebut tergantung dari kekerasan pada waktu mengeraskan ulir tersebut. Pada penyulang Leci ada dua buah jenis konektor. Yaitu *Jointing Box* dan LLC (*Live Line Connector*). Untuk *jointing box* keakuratannya sudah sangat tinggi karena *jointing box* ini bertipe *compressed type*. Sehingga dalam hal ini tidak perlu diadakan perbaikan. Sedangkan untuk konektor LLC (*Live Line Connector*) perlu dilakukan perbaikan karena konektor ini dipasang dengan sistem jepitan dengan ulir sebagai tumpuan kencang (*tight*) atau tidaknya, dengan kata lain sempurna atau tidaknya kontak tersebut tergantung dari kekerasan pada waktu mengeraskan ulir tersebut. Kelemahan konektor LLC (*Live Line Connector*) yang sering dijumpai dilapangan antara lain :

1. Tidak tahan terhadap arus hubung singkat (*short circuit*), dengan wujud percikan bunga api dan lama kelamaan terjadi *loss kontak*.
2. Pengadaan material tersebut sulit (saat ini)
3. Harga lebih mahal, sekitar US \$ 10.
4. Nilai lossesnya tinggi.

Untuk itu perlu dilakukan penggantian konektor. Dan dalam pembahasan ini yang direkomendasikan adalah konektor jenis

LTC ( *Line Tap Connector* ). Konektor ini dipasang dengan sistem compression, dengan demikian memerlukan peralatan bantu (*Hydrolic Compression* ). Dengan sistem press, konektor ini akan lebih terjamin nilai kesempurnaan kontakannya dan akan meminimalisasi nilai susut energi pada konektor tersebut. Keuntungan konektor LTC antara lain :

1. Dengan alat press (*Hydrolic Compression*) nilai kesempurnaan kontakannya akan lebih terjamin sehingga akan meminimalisasikan losses.
2. Bila sewaktu-waktu terjadi arus hubung singkat (*short circuit*) lebih tahan dibanding jenis LLC karena lebih baik.
3. Pengadaan barang tidak sulit.
4. Harga lebih murah



Gambar 4.5 Jenis jointing kabel menggunakan LTC [7]

Dari solusi tersebut penulis tidak dapat menghitung nilai kerugiannya secara riil sesuai dengan pembahasan skripsi penulis. Hal ini dikarenakan Untuk perhitungan susut energi pada konektor penulis tidak dapat menemukan literatur yang tetap. Untuk itu penulis dalam hal ini melakukan asumsi nilai pengurangan susut energi lain pada penghantar Leci pada tahun 2009. Penulis mengasumsikan bahwa penurunan susut energi yang dihasilkan adalah sebesar 50 % dari susut energi lain total satu tahun. Dimana nilainya adalah sebagai berikut :

$$50 \% \times 118.164,00 \text{ kWh} = 59.082 \text{ kWh.}$$

Sehingga besar susut energi lain adalah sebesar 59.082 kWh.

### 3. Total penurunan susut energi dengan skenario 2.

Nilai susut energy total sebelum dilakukan skenario ini adalah sebesar 957.614,13 kWh. Sedangkan nilai susut energi total setelah dilakukan skenario ini adalah = susut total penghantar setelah skenario + susut lain setelah skenario

$$= 503.670,08 \text{ kWh} + 59.082 \text{ kWh.}$$

$$= 562.752,08 \text{ kWh.}$$

Sehingga dengan skenario ini berhasil diturunkan susut energi sebesar:

$$= 957.614,13 \text{ kWh} - 562.752,08 \text{ kWh.}$$

$$= 394.862,05 \text{ kWh}$$

Sehingga dengan skenario ini berhasil diturunkan susut energi sebesar 41 %.

Tabel 4.2 Perkiraan persentase susut energi kondisi eksisting dengan skenario 1 dan 2

No	Kondisi Eksisting			Skenario 1				Skenario 2			
	Susut Total (kWh)	Susut Penghantar (kWh)	Susut Energi lain (kWh)	Susut Total (kWh)	Susut Penghantar (kWh)	Susut Energi lain (kWh)	Persentase Susut turun (%)	Susut Total (kWh)	Susut Penghantar (kWh)	Susut Energi lain (kWh)	Persentase Susut turun (%)
1	957,614.13	839,450.13	118,164.01	436,834.56	377,752.56	59,082.00	54	562,752.08	503,670.08	59,082.00	41

### 4.2 Evaluasi Biaya

Evaluasi Biaya ini dimaksudkan untuk menghitung :

1. Jumlah kerugian PLN tahun 2009 dalam nilai rupiah
2. Jumlah kerugian PLN tahun 2009 setelah melakukan skenario 1 dan perbandingannya dengan nilai sebelumnya dalam nilai rupiah.
3. Jumlah kerugian PLN tahun 2009 setelah melakukan skenario 2 dan perbandingannya dengan nilai sebelumnya dalam nilai rupiah.
4. Menghitung biaya yang diperlukan PLN untuk melakukan skenario1 dan perbandingan nilai Investasi PLN.

#### 4.2.1 Perkiraan Jumlah Kerugian PLN Tahun 2009 Dalam Nilai Rupiah

Jumlah kerugian PLN dalam rupiah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Susut energi total (Rp)  
= Susut energi total (kWh) x Tarif (Rp/kWh)  
= 957.614,13 kWh x 439,00  
= Rp. 420.392.603,1
- Susut energi penghantar (Rp)  
= Susut energi penghantar (kWh) x Tarif (Rp/kWh)  
= 839.450,13 kWh x 439,00  
= Rp.368.518.607,1
- Susut energi Lain (Rp)  
= Susut energi lain (kWh) x Tarif(Rp/kWh)  
= 118.164,00 x 439  
= Rp. 51.873.996

*Keterangan : Nilai tarif diatas adalah nilai tarif Listrik pada beban I<sub>3</sub> pada bulan Januari 2009.*

Harga tersebut sudah cukup besar untuk ukuran satu penyulang dengan satu buah beban. Nilai satu tahun saja sudah mencapai 1/3 dari nilai biaya operasi UPJ-UPJ di PLN Bekasi untuk satu tahun untuk seluruh penyulang dikota Bekasi dan sekitarnya. Tabelnya dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 (kondisi eksisting)

No	Rupiah/kWh	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi
		Total (kWh)	Total (Rp)	Penghantar (kWh)	Penghantar (Rp)	Lain (kWh)	Lain (Rp)
1	439	957.614,13	420.392.603,1	839.450,13	68.518.607,10	118.164,00	51.873.996

#### 4.2.2 Perkiraan Jumlah Kerugian PLN Tahun 2009 Setelah Melakukan Skenario 1 dan Perbandingannya Dengan Nilai Sebelumnya Dalam Nilai Rupiah.

Jumlah kerugian PLN dalam rupiah perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Susut energi total (Rp)
  - = Susut energi total (kWh) x Tarif (Rp/kWh)
  - = 436.834,56 kWh x 439,00
  - = Rp. 191.770.371,80
- Susut energi penghantar (Rp)
  - = Susut energi penghantar (kWh) x Tarif (Rp/kWh)
  - = 377,752,56 kWh x 439,00
  - = Rp. 165.833.373,80
- Susut energi lain (Rp)
  - = Susut energi Lain (kWh) x Tarif(Rp/kWh)
  - = 59.082 kWh x 439,00
  - = Rp. 25.936.998

*keterangan: Nilai tarif diatas adalah nilai tarif Listrik pada beban I<sub>3</sub> pada bulan Januari 2009.*

Nilai tersebut besarnya 46 % dari nilai sebelumnya. Bentuk tabelnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 ( skenario 1 )

No	Rupiah/kWh	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi
		Total (kWh)	Total (Rp)	Penghantar (kWh)	Penghantar (Rp)	Lain (kWh)	Lain (Rp)
1	439	436.834,56	191.770.371,80	377,752,56	165.833.373,80	59.082,00	25.936.998

#### 4.2.3 Perkiraan Jumlah Kerugian PLN Tahun 2009 Setelah Melakukan Skenario 2 dan Perbandingannya Dengan nilai Sebelumnya Dalam Nilai Rupiah.

Jumlah kerugian PLN dalam rupiah perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Susut energi total (Rp)
  - = Susut energi total (kWh) x Tarif (Rp/kWh)
  - = 562.752,08 x 439,00
  - = Rp. 247.048.163,10
- Susut energi penghantar (Rp)
  - = Susut energi penghantar (kWh) x Tarif(Rp/kWh)
  - = 503.670,08 kWh x 439
  - = Rp. 221.111.165,10
- Susut energi Lain (Rp)
  - = Susut energi Lain (kWh) x Tarif(Rp/kWh)
  - = 59.082 kWh x 439
  - = Rp. 25.936.998

*keterangan : Nilai tarif diatas adalah nilai tarif Listrik pada beban I<sub>3</sub> pada bulan Januari 2009.*

Dari hasil perhitungan skenario 2 diatas, dapat dilihat ditabel sebagai berikut :

Tabel 4.5 Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 ( skenario 2 )

No	Rupiah/kWh	Susut Energi Total (kWh)	Susut Energi Total (Rp)	Susut Energi Penghantar (kWh)	Susut Energi Penghantar (Rp)	Susut Energi Lain (kWh)	Susut Energi Lain (Rp)
1	439	562.752,08	247.048.163,10	503.670,08	221.111.165,10	59.082,00	25.936.998

#### 4.2.4 Perkiraan Jumlah Biaya Yang Diperlukan PLN Untuk Melakukan Skenario 1 dan Perbandingan Nilai Investasi PLN.

Komponen yang diperlukan dalam pemasangan penghantar pada skenario 1 ini adalah :

1. 73 drum kabel tipe N2XSERGbY ( 1 Drum = 250 m).
2. 59 pasang LTC ( *Line Tap Connector* ).
3. 18 buah Jointing Box (dipasang setiap 1 km).

Dengan harganya adalah sebagai berikut :

1. 73 Drum kabel tipe N2XSERGbY. ( 1 Drum = 250 m)

harga kabel tipe N2XSERGbY dari *PT. TRILISTRINDO PRATAMA* adalah sebesar Rp.157.500,00/meter + Rp.2000,00/m. Sedangkan yang dibutuhkan adalah sepanjang 18.100 m. Sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Harga kabel} &= (\text{Rp.157.500,00} \times 18100 \text{ m}) + (\text{Rp.2000,00} \times 18100\text{m}) \\ &= \text{Rp. 2.886.950.000,00}\end{aligned}$$

*Keterangan : Harga Rp. 2000,00/m untuk biaya Drum Kabel (Januari 2009)*

2. 59 pasang LTC ( *Line Tap Connector* ).

Harga 1 buah LTC ( *Line Tap Connector*) adalah Rp.30.000,00/buah.

$$\begin{aligned}\text{Maka untuk 59 pasang adalah} &= 59 \times 3 \times \text{Rp.30.000,00} \\ &= \text{Rp. 5.310.000,00}\end{aligned}$$

3. 8 buah Jointing Box (dipasang setiap 1 km)

Harga 1 buah/paket *jointing box* adalah Rp.3.150.000,00/paket.

$$\begin{aligned}\text{Maka untuk 18 paket adalah} &= 18 \times \text{Rp.3.150.000,00} \\ &= \text{Rp. 56.700.000,00}\end{aligned}$$

*keterangan : harga diatas adalah harga pada bulan Januari 2009 ( 1\$ = Rp. 10.500,00)*

Sehingga total biaya yang dikeluarkan (tidak termasuk biaya pemasangan) adalah

$$\begin{aligned}&= \text{Harga kabel} + \text{Harga konektor} + \text{Harga } \textit{Jointing box} \\ &= \text{Rp. 2.886.950.000} + \text{Rp. 5.310.000} + \text{Rp. 56.700.000} \\ &= \text{Rp. 2.948.960.000,00.}\end{aligned}$$

Jadi total jumlah biaya yang diperlukan untuk skenario 1 adalah sebesar Rp. 2.948.960.000,00. Sedangkan nilai susut energi total yang dikurangi adalah

$$\begin{aligned} \text{sebesar} &= 520.779,57 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 439,00 \\ &= \text{Rp. } 228.622.231,20 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

Sehingga PLN dalam hal ini menyimpan investasi selama

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Rp. } 2.948.960.000,00.}{228.622.231,20} \\ &= 12,9 \text{ tahun.} \end{aligned}$$

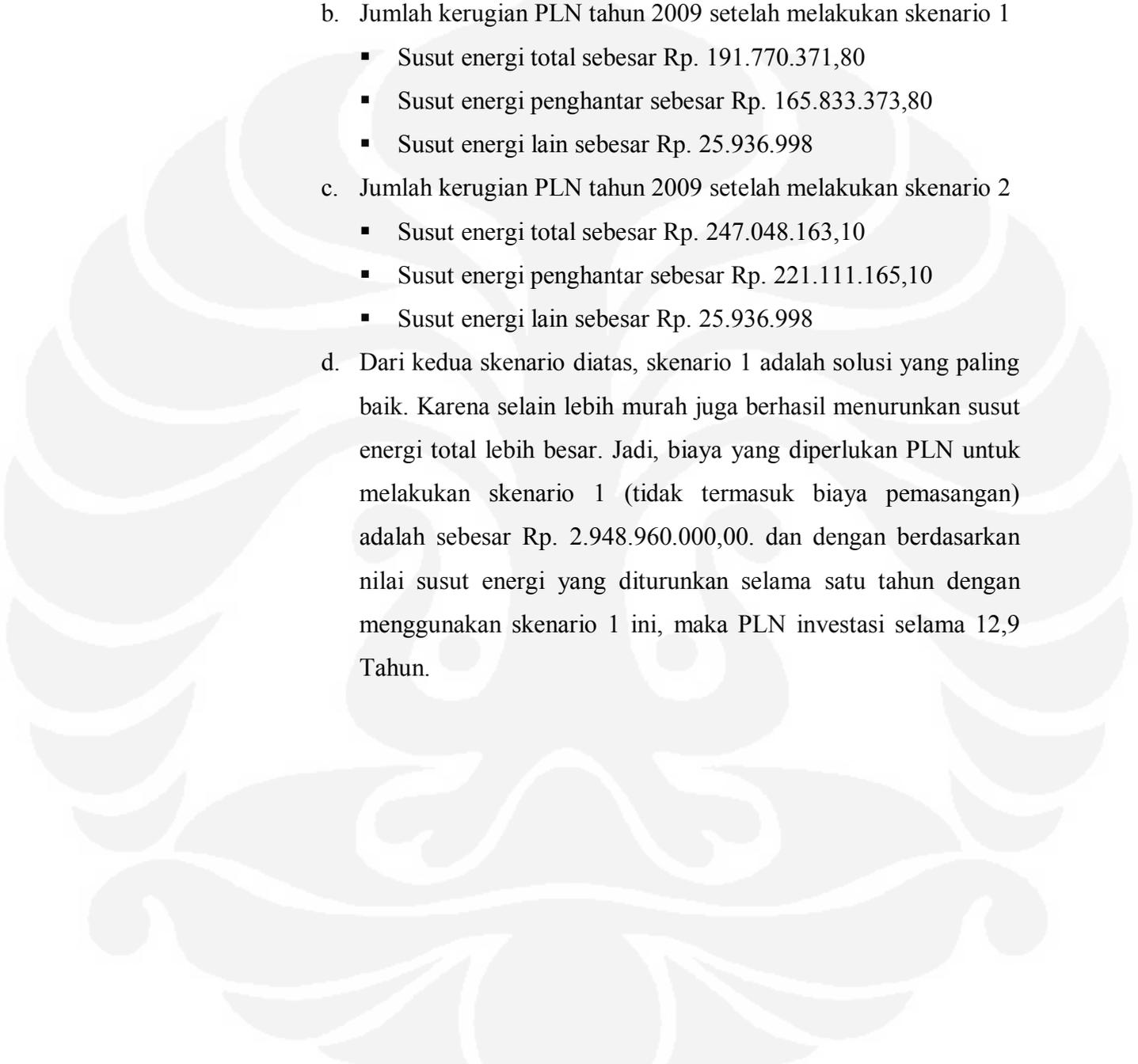
Tabel 4.6 Perkiraan biaya skenario 1 dan perbandingan investasinya

No	Rp/kWh	Kondisi Awal		Setelah Skenario 1		Susut yang berhasil dikurangi		Biaya Skenario 1	Investasi
		kWh	Rupiah	kWh	Rupiah	kWh	Rupiah	Rupiah	Tahun
1	439	957.614,13	420.392.603,1	436.834,56	191.770.371,80	520.779,57	228.622.231,20	2.948.960.000,00	12,9

Jadi berdasarkan data pengukuran dan analisis kinerja penyulang Leci digardu induk Jababeka maka ringkasan bab 4 ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perhitungan *system forecasting single moving Averages*, dari data bulan Januari - Mei 2009, didapatkan juga data rata-rata selanjutnya yaitu bulan Juni - Desember 2009, sehingga total data yang ada adalah satu tahun, (kondisi eksisting) didapatkan :
  - a. Arus puncak rata – rata tahun 2009 adalah 270 A.
  - b. Arus rata – rata satu tahun 2009 adalah 234 A.
  - c. Faktor beban rata-rata tahun 2009 adalah 0.86.
  - d. Faktor losses rata-rata tahun 2009 adalah 0.78.
  - e. Kwh input rata-rata tahun 2009 adalah 3.836.000 kWh.
  - f. Kwh output rata-rata tahun 2009 adalah 3.756.198,82 kWh.
  - g. Susut energi total tahun 2009 adalah 957.614,13 kWh.
  - h. Susut energi penghantar tahun 2009 adalah 830.450,13 kWh.
  - i. Susut energi lain tahun 2009 adalah 118.164,00 kWh.

2. Hasil perhitungan skenario 1 yaitu, pembagian dan penurunan susut energi listrik dengan asumsi beban rata-rata per-bulan stabil, didapatkan :
  - a. Memparalelkan penghantar, susut energi penghantar tahun 2009 adalah 419.725,06 kWh, atau 50% dari susut energi penghantar kondisi eksisting.
  - b. Menaikan tegangan 1 kV, susut energi penghantar tahun 2009 adalah 377.752,56 kWh, atau 55% dari susut energi penghantar kondisi eksisting.
  - c. Penggantian konektor, susut energi lain tahun 2009 adalah 59.082 kWh, atau 50 % dari susut energi lain kondisi eksisting.
  - d. Total penurunan susut energi total setelah dilakukan skenario 1 tahun 2009 adalah 436.834,56, sehingga dengan skenario 1 ini berhasil diturunkan susut energi total sebesar 520.779,57 atau 54% susut energi total bisa diturunkan.
3. Hasil perhitungan skenario 2 yaitu, penurunan nilai resistansi penghantar dan penurunan susut energi lain dengan asumsi beban rata-rata per-bulan stabil didapatkan :
  - a. Penurunan nilai resistansi penghantar, susut energi penghantar tahun 2009 adalah 503.670,08 kWh, atau 60% dari susut energi penghantar kondisi eksisting.
  - b. Penggantian konektor, susut energi lain tahun 2009 adalah 59.082 kWh, atau 50% dari susut energi lain kondisi eksisting.
  - c. Total penurunan susut energi total setelah dilakukan skenario 2 tahun 2009 adalah 562.752,08 kWh sehingga dengan skenario 2 ini berhasil diturunkan susut energi total sebesar 394.862,05 kWh atau 41% susut energi total bisa diturunkan.
4. Berdasarkan hasil perhitungan dan alternatif perbaikan pada penyulang leci di gardu induk Jababeka maka dapat dilakukan evaluasi biaya (tarif I<sub>3</sub> Januari 2009, Rp/kWh = 439,) sebagai berikut :

- 
- a. Jumlah kerugian PLN tahun 2009 ( tanpa skenario)
    - Susut energi total sebesar Rp. 420.392.603,10
    - Susut energi penghantar sebesar Rp. 368.518.607,10
    - Susut energi lain sebesar Rp. 51.873.996
  - b. Jumlah kerugian PLN tahun 2009 setelah melakukan skenario 1
    - Susut energi total sebesar Rp. 191.770.371,80
    - Susut energi penghantar sebesar Rp. 165.833.373,80
    - Susut energi lain sebesar Rp. 25.936.998
  - c. Jumlah kerugian PLN tahun 2009 setelah melakukan skenario 2
    - Susut energi total sebesar Rp. 247.048.163,10
    - Susut energi penghantar sebesar Rp. 221.111.165,10
    - Susut energi lain sebesar Rp. 25.936.998
  - d. Dari kedua skenario diatas, skenario 1 adalah solusi yang paling baik. Karena selain lebih murah juga berhasil menurunkan susut energi total lebih besar. Jadi, biaya yang diperlukan PLN untuk melakukan skenario 1 (tidak termasuk biaya pemasangan) adalah sebesar Rp. 2.948.960.000,00. dan dengan berdasarkan nilai susut energi yang diturunkan selama satu tahun dengan menggunakan skenario 1 ini, maka PLN investasi selama 12,9 Tahun.

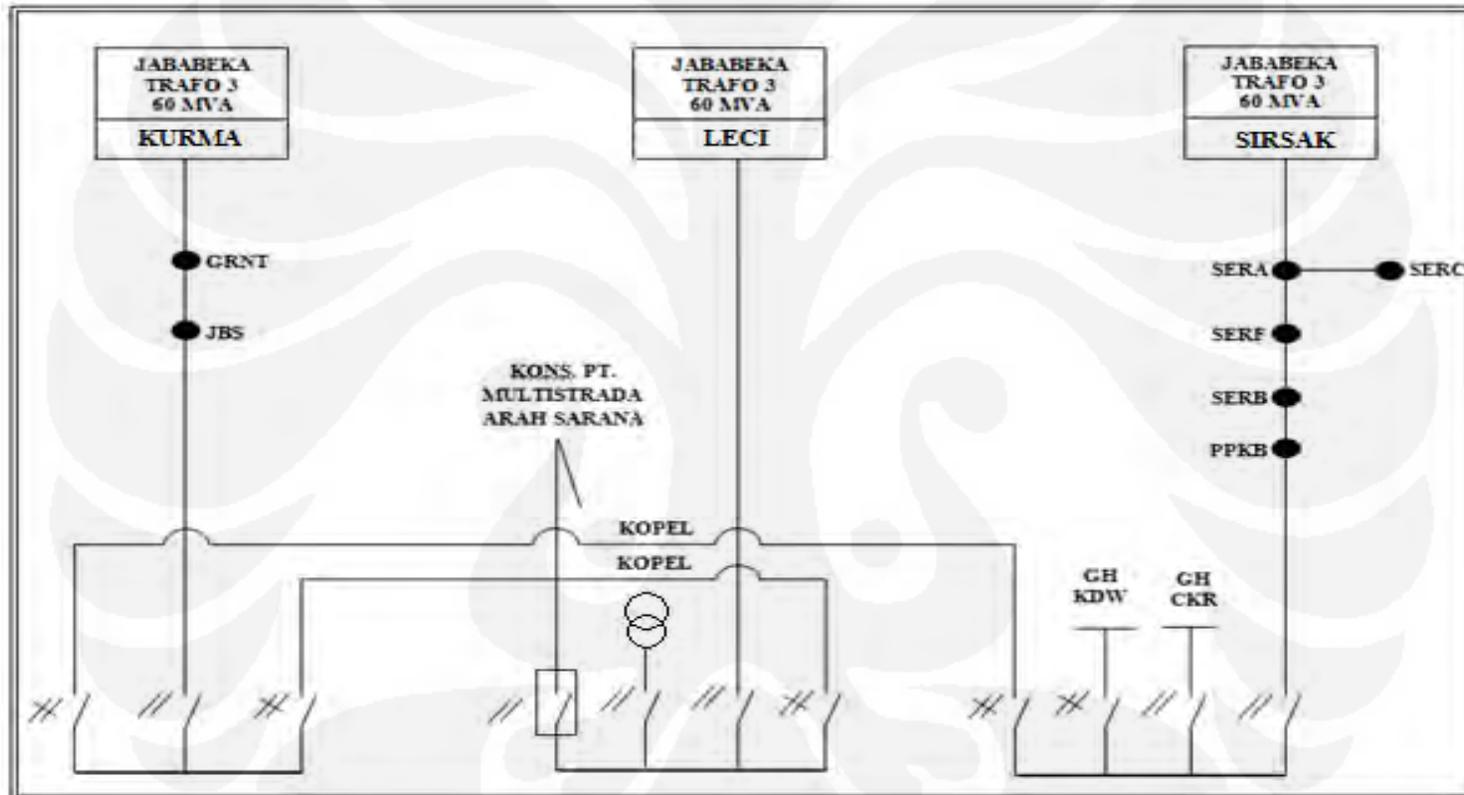
## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

1. Susut energi total dengan skenario 1 (memparalelkan penghantar, menaikkan tegangan 1 kV, penggantian konektor) tahun 2009 adalah 436.834,56 kWh atau 54% susut energi kondisi eksisting bisa diturunkan.
2. Susut energi total dengan skenario 2 (penurunan nilai resistansi penghantar, penggantian konektor) tahun 2009 adalah 562.752,08 kWh atau 41% susut energi kondisi eksisting bisa diturunkan.
3. Dari kedua skenario diatas, skenario 1 adalah solusi yang paling baik. Karena selain lebih murah juga berhasil menurunkan susut energi kondisi eksisting lebih besar yaitu 54%. Jadi, biaya yang diperlukan PLN untuk melakukan skenario 1 (tidak termasuk biaya pemasangan) adalah sebesar Rp. 2.948.960.000,00. dan dengan berdasarkan nilai susut energi yang diturunkan selama satu tahun dengan menggunakan skenario 1 ini, maka PLN bisa melakukan penghematan biaya selama 12,9 Tahun.

## DAFTAR ACUAN

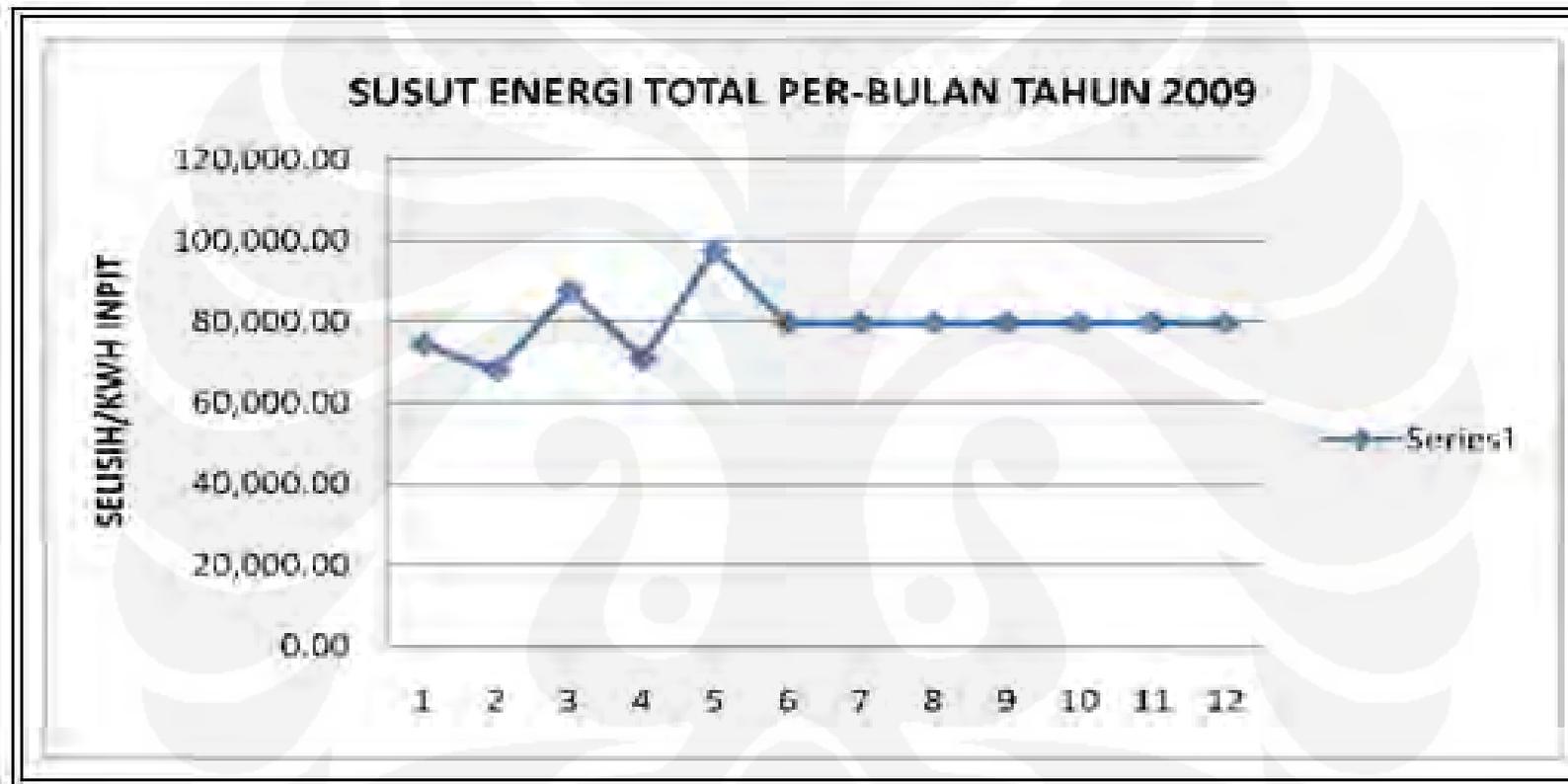
- [1] Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. Amerika Serikat : McGraw-Hill,inc.
- [2] Pabla,AS. 1986. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- [3] Pasaribu,Toni Yhon. 1986. *Study Metoda Pengurangan Rugi-rugi Daya dan Tegangan pada system Distribusi di kota Pematang Siantar*. Medan. Jakarta : Universitas Medan Area.
- [4] Subagyo, Pangestu. 1986. *FORECASTING konsep dan Aplikasi. Edisi kedua*. Yogyakarta: BPFE-Yogyakarta.
- [5] Suparyono, dkk. 1990. *TUGAS AKHIR : Analisa mengenai kehilangan kWh (Losses) dilingkungan PLN wilayah I. Banda Aceh . PT.PLN Banda Aceh*.
- [6] Soekarto, Ir.2005. *Proteksi Sistem Distribusi dan AMR* .Bogor : UDIKLAT PLN Cibogo-Bogor.
- [7] AOTS/JCAA. 2006. *Konstruksi Kabel Daya dan Aksesorid Kabel*. Bandung: APJ Bandung
- [8] Uan Fauzan, dkk,2009. *Single Line Diagram 2009*. Bekasi: UPJ Prima-Bekasi.
- [9] Gussow, Milton. 2002. *Dasar-dasar Teknik Listrik*, Jakarta : Erlangga



Gambar. Single line diagram penyulang Leci di gardu induk Jababeka

Tabel. Perkiraan susut energi total per-bulan tahun 2009 kondisi eksisting

NO	BULAN	KWH PENYULANG	KWH KONSUMEN			KWH INPUT
			LWBP	WBP	TOTAL	
1	Januari	3,837,000	3,200,086.096	562,466.816	3,762,552.91	74,447.09
2	Februari	3,640,000	3,103,626.784	468,171.792	3,571,798.58	68,201.42
3	Maret	3,874,000	3,232,800.432	553,297.472	3,786,097.90	87,902.10
4	April	3,928,000	3,399,240.321	457,834.897	3,857,075.22	70,924.78
5	Mei	3,901,000	3,221,160.156	582,309.346	3,803,469.50	97,530.50
6	Juni	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18
7	Juli	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18
8	Agustus	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18
9	September	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18
10	Oktober	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18
11	November	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18
12	Desember	3,836,000	3,231,382.758	524,816.065	3,756,198.82	79,801.18



Gambar. Perkiraan susut energi total per-bulan tahun 2009 kondisi eksisting

WILIS ver.51d



PT PLN PERSERO : CABANG BEKASI

Fri Jun 5, 2009 - 19:01:59

**Energy Usage (Customer)**

Customer ID	Name	Address	Rate	CP (VA)	meter type	Meter Id
537715024895	MULTI STRADA	JI RAYA LEMAH ABANG , PRIMA BEKASI,	I3	13015000	MK6	204049288

From	Until
Jan-09	Jun-09

No.	Date Time	kWh LWBP	kWh WBP	kWh Total
1	Energy Usage Jan 2008 - Feb 2008	3,200,086.096	562,466.816	3,762,552.91
2	Energy Usage Feb 2008 - Mar 2008	3,103,626.784	468,171.792	3,571,798.58
3	Energy Usage Mar 2008 - Apr 2008	3,232,800.432	553,297.472	3,786,097.90
4	Energy Usage Apr 2008 - May 2008	3,399,240.321	457,834.897	3,857,075.22
5	Energy Usage May 2008 - Jun 2008	3,221,160.156	582,309.346	3,803,469.50
	<b>Total</b>	<b>16,156,913.789</b>	<b>2,624,080.323</b>	<b>18,780,994.112</b>

5 record(s) found.

Tabel. Perkiraan susut energi penghantar per-bulan tahun 2009 kondisi eksisting

NO	Bulan	Masa Jenis ( $\Omega/\text{Km}$ )	Resistensi ( $\Omega$ )	Arus puncak (A)	Arus rata-rata (A)	Daya Nyata (Watt)	Lf	Ls	Susut
									Penghantar (KWH Output)
1	Januari	0.125	2.2625	270	230	119,686.25	0.85	0.76	65,492.32
2	Februari	0.125	2.2625	270	225	114,539.06	0.83	0.73	60,201.73
3	Maret	0.125	2.2625	270	240	130,320.00	0.89	0.82	76,940.93
4	April	0.125	2.2625	270	225	114,539.06	0.83	0.73	60,201.73
5	Mei	0.125	2.2625	270	250	141,406.25	0.93	0.88	89,595.00
6	Juni	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
7	Juli	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
8	Agustus	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
9	September	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
10	Oktober	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
11	November	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
12	Desember	0.125	2.2625	270	234	123,885.45	0.86	0.78	69,574.06
<b>TOTAL ENERGI</b>									<b>839,450.13</b>



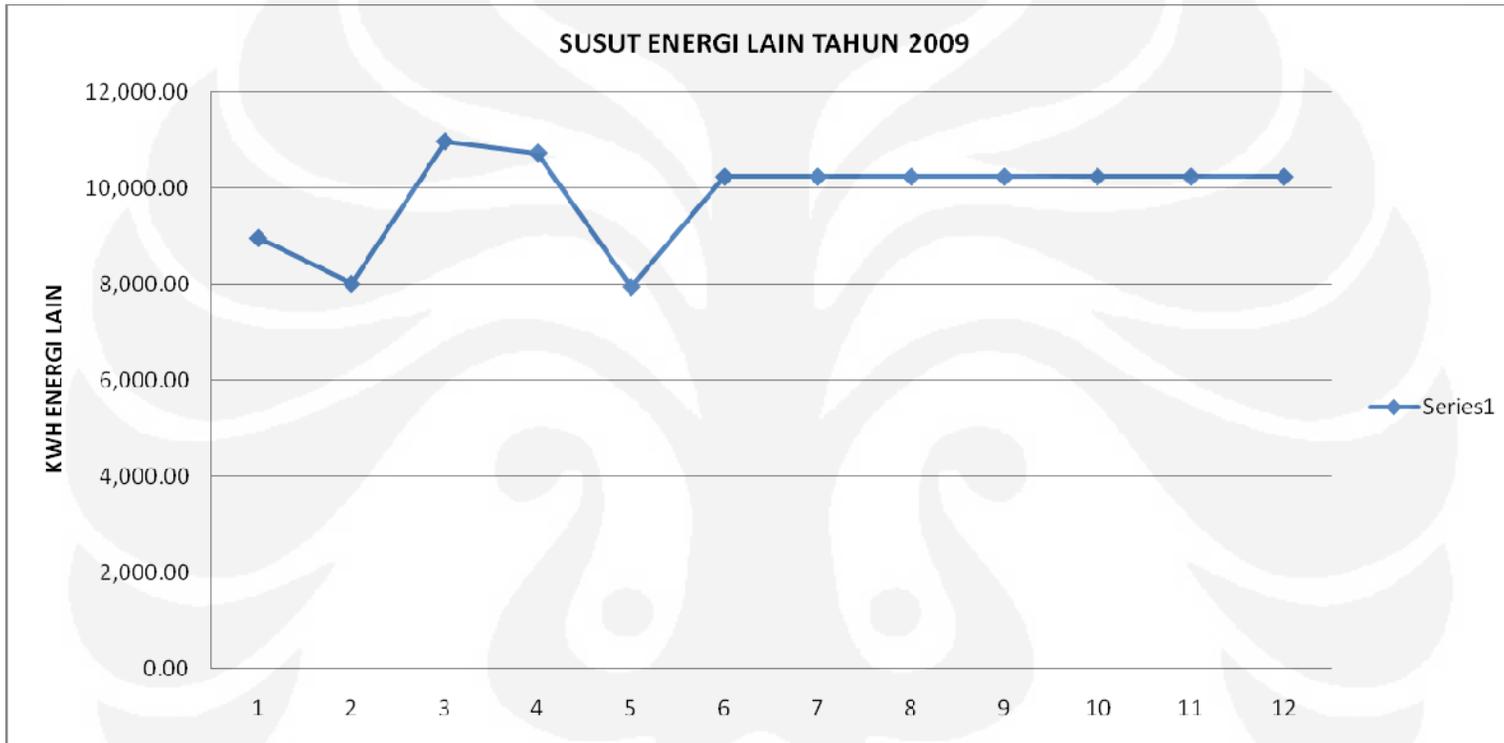
Gambar. Grafik perkiraan susut energi penghantar per-bulan tahun 2009 kondisi eksisting

Tabel. Perkiraan susut energi penghantar skenario 1 per-bulan tahun 2009

NO	Bulan	Masa Jenis $P$ ( $\Omega$ /Km)	Resistensi $R$ ( $\Omega$ )	Arus puncak (A)	Arua rata-rata (A)		Daya Nyata (Watt)		$L_f$	$L_s$	Susut penghantar (KWH Output)		Total (kWh)
					I1	I2	P1	P2			E1	E2	
1	Januari	0.125	2.2625	270	115	115	29,921.56	29,921.56	0.85	0.76	16,373.08	16,373.08	32,746.16
2	Februari	0.125	2.2625	270	112.5	112.5	28,634.77	28,634.77	0.83	0.73	15,050.43	15,050.43	30,100.87
3	Maret	0.125	2.2625	270	120	120	32,580.00	32,580.00	0.89	0.82	19,235.23	19,235.23	38,470.46
4	April	0.125	2.2625	270	112.5	112.5	28,634.77	28,634.77	0.83	0.73	15,050.43	15,050.43	30,100.87
5	Mei	0.125	2.2625	270	125	125	35,351.56	35,351.56	0.93	0.88	22,398.75	22,398.75	44,797.50
6	Juni	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
7	Juli	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
8	Agustus	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
9	September	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
10	Oktober	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
11	November	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
12	Desember	0.125	2.2625	270	117	117	30,971.36	30,971.36	0.86	0.78	17,393.52	17,393.52	34,787.03
<b>TOTAL ENERGI</b>											<b>209,862.55</b>	<b>209,862.55</b>	<b>419,725.09</b>

Tabel. Perkiraan susut energi lain tahun 2009 kondisi eksisting

NO	BULAN	KWH INPUT	KWH OUTPUT	SELISIH
1	Januari	74,447.09	65,492.32	8,954.77
2	Februari	68,201.42	60,201.73	7,999.69
3	Maret	87,902.10	76,940.93	10,961.17
4	April	70,924.78	60,201.73	10,723.05
5	Mei	97,530.50	89,595.00	7,935.50
6	Juni	79,801.18	69,574.06	10,227.12
7	Juli	79,801.18	69,574.06	10,227.12
8	Agustus	79,801.18	69,574.06	10,227.12
9	September	79,801.18	69,574.06	10,227.12
10	Oktober	79,801.18	69,574.06	10,227.12
11	November	79,801.18	69,574.06	10,227.12
12	Desember	79,801.18	69,574.06	10,227.12
<b>TOTAL ENERGI</b>				<b>118,164.01</b>



Gambar. Perkiraan susut energi lain tahun 2009 kondisi eksisting

Tabel. Susut energi pada penyulang Leci di gardu induk Jababeka tahun 2009 kondisi eksisting

No	Bulan	Arus Puncak (A)	Arus rata - rata (A)	Lf	Ls	kWh Input	kWh Output	Susut Energi Total (Kwh)	Susut Energi Penghantar (Kwh)	Susut Energi Lain (Kwh)
1	Jan-09	270	250	0.85	0.76	3,837,000	3,762,552.91	74,447.09	65,492.32	8,954.77
2	Feb-09	270	225	0.83	0.73	3,640,000	3,571,798.58	68,201.42	60,201.73	7,999.69
3	Mar-09	270	240	0.89	0.82	3,874,000	3,786,097.90	87,902.10	76,940.93	10,961.17
4	Apr-09	270	225	0.83	0.73	3,928,000	3,857,075.22	70,924.78	60,201.73	10,723.05
5	May-09	270	250	0.93	0.88	3,901,000	3,803,469.50	97,530.50	89,595.00	7,935.50
6	Jun-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
7	Jul-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
8	Aug-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
9	Sep-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
10	Oct-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
11	Nov-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
12	Dec-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82	79,801.18	69,574.06	10,227.12
<b>TOTAL ENERGI</b>						<b>46,032,000</b>	<b>45,074,385.87</b>	<b>957,614.13</b>	<b>839,450.13</b>	<b>118,164.01</b>

Tabel. Perhitungan sistem Forecasting bulan Juni - Desember 2009

No	Bulan	Arus Puncak (A)	Arus rata - rata (A)	Lf	Ls	kWh input	kWh output
1	Jun-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
2	Jul-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
3	Aug-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
4	Sep-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
5	Oct-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
6	Nov-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82
7	Dec-09	270	234	0.86	0.78	3,836,000	3,756,198.82

Tabel. Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 kondisi eksisting

No	Rupiah/kWh	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi
		Total (kWh)	Total (Rp)	Penghantar (kWh)	Penghantar (Rp)	Lain (kWh)	Lain (Rp)
1	439	957.614,13	420.392.603,1	839.450,13	68.518.607,10	118.164,00	51.873.996

Tabel. Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 ( Skenario 1 )

<b>No</b>	<b>Rupiah/kWh</b>	<b>Susut Energi Total (kWh)</b>	<b>Susut Energi Total (Rp)</b>	<b>Susut Energi Penghantar (kWh)</b>	<b>Susut Energi Penghantar (Rp)</b>	<b>Susut Energi Lain (kWh)</b>	<b>Susut Energi Lain (Rp)</b>
<b>1</b>	<b>439</b>	<b>436.834,56</b>	<b>191.770.371,80</b>	<b>377,752,56</b>	<b>165.833.373,80</b>	<b>59.082,00</b>	<b>25.936.998</b>

Tabel. Perkiraan kerugian PLN tahun 2009 ( Skenario 2 )

No	Rupiah/kWh	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi	Susut Energi
		Total	Total	Penghantar	Penghantar	Lain	Lain
		(kWh)	(Rp)	(kWh)	(Rp)	(kWh)	(Rp)
1	439	562.752,08	247.048.163,10	503.670,08	221.111.165,10	59.082,00	25.936.998

Tabel. Perkiraan biaya skenario 1 dan biaya investasinya tahun 2009

No	Rp/kWh	Kondisi Awal		Setelah Skenario 1		Susut yang berhasil dikurangi		Biaya Skenario 1	Investasi
		kWh	Rupiah	kWh	Rupiah	kWh	Rupiah	Rupiah	Tahun
1	439	957.614,13	420.392.603,1	436.834,56	191.770.371,80	520.779,57	228.622.231,20	2.948.960.000,00	12,9



*LAMPIRAN*

Tabel. Perkiraan persentase susut energi kondisi eksisting dengan skenario 1 dan 2

No	Kondisi Eksisting			Skenario 1				Skenario 2			
	Susut Total (kWh)	Susut Penghantar (kWh)	Susut Energi lain (kWh)	Susut Total (kWh)	Susut Penghantar (kWh)	Susut Energi lain (kWh)	Persentase Susut turun (%)	Susut Total (kWh)	Susut Penghantar (kWh)	Susut Energi lain (kWh)	Persentase Susut turun (%)
1	957,614.13	839,450.13	118,164.01	436,834.56	377,752.56	59,082.00	54	562,752.08	503,670.08	59,082.00	41