



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT ENERGI PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH WILAYAH PLN APJ CEMPAKA PUTIH DENGAN
VARIASI BEBAN PELANGGAN INDUSTRI**

SKRIPSI

Aditya Prihambada

0606073700

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT ENERGI PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH WILAYAH PLN APJ CEMPAKA PUTIH DENGAN
VARIASI BEBAN PELANGGAN INDUSTRI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Aditya Prihambada

0606073700

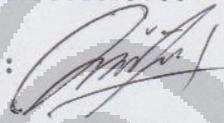
**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Aditya Prihambada

NPM : 0606073700

Tanda Tangan : 

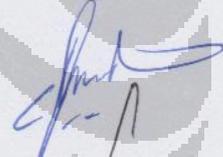
Tanggal : 6 Juli 2012

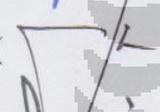
HALAMAN PENGESAHAN

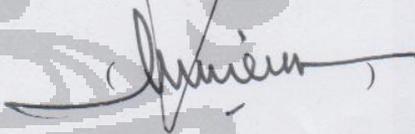
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Aditya Prihambada
NPM : 0606073700
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Studi Susut Energi pada Jaringan Tegangan Rendah Wilayah PLN APJ Cempaka Putih dengan Variasi Beban Pelanggan Industri

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir I Made Ardita, MT ()

Penguji : Prof. Dr. Ir Iwa Garniwa M.K, MT ()

Penguji : Ir Amien Rahardjo, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Atas terselesaikannya skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. I Made Ardita, MT selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu penyelesaian skripsi ini;
2. Karyawan-karyawan PT PLN Area Pelayanan Jaringan Cempaka Putih, yang telah memberikan bantuan dalam proses pencarian data aset;
3. Orang tua, keluarga, dan Niki Fadhliah yang menjadi inspirasi serta selalu memberikan dukungan, semangat, dan motivasi;
4. Alfian Yusuf Habibie, Haris Hakim, dan Pandu Nugroho Prianto sebagai rekan perjuangan satu tim susut selama masa pembuatan skripsi;
5. Efricko Praditya dan Arifana sebagai sahabat setia yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam proses penyelesaian skripsi;
6. Rekan-rekan angkatan 2006 yang telah bersama-sama melalui susah dan senang selama masa perkuliahan dan akan selalu bersama hingga masa kesuksesan kami kelak;
7. Seluruh keluarga besar Civitas Akademika Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 6 Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : Aditya Prihambada
NPM : 0606073700
Program Studi : Sarjana Reguler 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 :

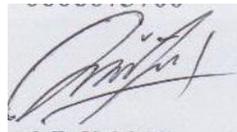
**Studi Susut Energi pada Jaringan Tegangan Rendah Wilayah
PLN APJ Cempaka Putih dengan Variasi Beban Pelanggan Industri**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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 : 6 Juli 2012

Yang Menyatakan,



(Aditya Prihambada)

ABSTRAK

Nama : Aditya Prihambada

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Studi Susut Energi Pada Jaringan Tegangan Rendah Wilayah
PLN APJ Cempaka Putih Dengan Variasi Beban Pelanggan
Industri

Industri merupakan sektor usaha yang memberikan kontribusi terbesar terhadap perekonomian dengan tingkat pertumbuhan rata-rata tujuh persen per tahun. Untuk memenuhi keberlangsungan proses industri, pemerintah yang diwakili oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) memiliki kewajiban untuk menyediakan infrastruktur pendukung industri berupa pasokan listrik yang memadai. Sehubungan dengan itu, perlu dikaji bagaimana pengaruh susut teknis pada jaringan tegangan rendah dengan objek beban pelanggan industri. Pelanggan industri memiliki profil beban yang dapat digunakan untuk mencari susut teknis setiap jam sesuai dengan profil beban. Dengan demikian bisa didapatkan komposisi pembebanan pelanggan yang ideal, yaitu I1 (450-2200 VA) 50% - I1 (3500-14000 VA) 25% - I2 25% dengan efisiensi 98.76%.

Kata Kunci:

Sistem Tenaga Listrik, Jaringan Tegangan Rendah, Industri, Susut Energi, Profil Beban

ABSTRACT

Name : Aditya Prihambada
Study Program : Electrical Engineering
Title : Study of Energy Losses at PLN Cempaka Putih Area Low Voltage Distribution System Using Industrial Load Variations

Industry is a business sector that giving the highest contribution for economic by growing 7% year on year. In order to fulfill this industry, Indonesian Government represented by Perusahaan Listrik Negara (PLN) has obligation to develop infrastructure that support this industry with sufficient electricity. In relevancy of this, it should be examined how the influence of technical losses in low voltage networks to industrial customer object. Industrialized customer has a load profile that can be used to find technical losses per hour in accordance with the load profile. With this, the ideal composition of customer can be found: I1 (450-2200 VA) 50% - I1 (3500-14000 VA) 25% - I2 25% with efficiency of 98.76%.

Keywords:

Electric Power System, Low Voltage Distribution System, Industrial, Energy Losses, Load Profile

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	III
HALAMAN PENGESAHAN	IV
KATA PENGANTAR	V
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	VI
ABSTRAK	VII
ABSTRACT	VIII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR GAMBAR	XII
DAFTAR TABEL	XIII
DAFTAR GRAFIK	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	XV
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
2.1 SISTEM TENAGA LISTRIK	4
2.2 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK	8
2.2.1 KOMPONEN SISTEM DISTRIBUSI	9
2.2.2 PERSYARATAN SISTEM DISTRIBUSI	11
2.2.2.1 Faktor Keandalan Sistem	11
2.2.2.2 Faktor Kualitas Sistem	12
2.2.2.3 Faktor Keselamatan	12
2.2.2.4 Faktor Pemeliharaan	13
2.2.2.5 Faktor Perencanaan	14

2.3 PENYALURAN TENAGA LISTRIK.....	14
2.3.1 GARDU DISTRIBUSI	14
2.3.2 PENYALURAN SETEMPAT	17
2.4 TEGANGAN DISTRIBUSI	17
2.4.1 TEGANGAN MENENGAH (TM).....	17
2.4.2 TEGANGAN RENDAH (TR).....	18
2.4.3 TEGANGAN PELAYANAN	18
2.5 SUSUT ENERGI JARINGAN.....	19
2.5.1 SUSUT JARINGAN TEGANGAN RENDAH	20
2.5.2 SUSUT TRANSFORMATOR	21
2.5.3 SUSUT SAMBUNGAN PELANGGAN	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 PENJELASAN UMUM.....	23
3.2 KERANGKA PENELITIAN.....	23
3.3 TAHAP PRA PENELITIAN.....	24
3.3.1 STUDI PUSTAKA	24
3.3.2 DATA PLN APJ CEMPAKA PUTIH	25
3.4 KLASIFIKASI DATA	27
3.4.1 JARINGAN TEGANGAN RENDAH	27
3.4.2 PENGHANTAR	28
3.4.3 PELANGGAN DALAM JARINGAN TEGANGAN RENDAH	30
3.5 PENGOLAHAN DATA	34
3.5.1 PARAMETER PENGHITUNGAN SUSUT ENERGI	34
3.5.2 FORMULA PENGHITUNGAN SUSUT.....	36
3.6 ANALISIS DATA	37
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA.....	39
4.1 PENGOLAHAN DATA	39
4.1.1 ARUS MAKSIMUM TRANSFORMATOR DISTRIBUSI	39
4.1.2 RESISTANSI SALURAN	39

4.1.3	PERSEN PEMBEBANAN.....	40
4.1.4	ARUS PANGKAL PEMBEBANAN.....	41
4.1.5	ARUS PADA MASING-MASING TITIK BEBAN	41
4.1.6	SUSUT PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH.....	42
4.1.7	EFISIENSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH.....	42
4.2	ANALISIS GRAFIK	43
4.2.1	ANALISIS PROFIL SUSUT DAN EFISIENSI BEBAN SATU JENIS 100 %	44
4.2.2	ANALISIS PROFIL SUSUT DAN EFISIENSI JARINGAN DENGAN DUA JENIS PELANGGAN BOBOT 50%-50%	50
4.2.3	ANALISIS PROFIL SUSUT DAN EFISIENSI JARINGAN DENGAN DUA JENIS PELANGGAN BOBOT 70%-30%	53
4.2.4	ANALISIS PROFIL SUSUT DAN EFISIENSI JARINGAN DENGAN DUA PELANGGAN BOBOT 30%-70%	56
4.2.5	ANALISIS PROFIL SUSUT DAN EFISIENSI JARINGAN DENGAN TIGA PELANGGAN.....	59
4.3	ANALISIS HUBUNGAN PELANGGAN DENGAN SUSUT DAN EFISIENSI.....	63
BAB 5	KESIMPULAN	66
DAFTAR ACUAN		67
LAMPIRAN		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Sistem Tenaga Listrik.....	4
Gambar 2.2. <i>Overhead Lines</i>	6
Gambar 2.3. <i>Underground cables</i>	7
Gambar 2.4. Skema Umum Distribusi Listrik	7
Gambar 2.5. Komponen Penyusun Sistem Distribusi	10
Gambar 2.6. Konstruksi Gardu Beton.....	15
Gambar 2.7. Konstruksi Gardu <i>Metal Clad</i>	15
Gambar 2.8. Konstruksi Gardu Portal.....	16
Gambar 2.9. Konstruksi Gardu Mobil.....	16
Gambar 2.10. Saluran Distribusi Tegangan Rendah.....	18
Gambar 2.11. Susut Jaringan Tegangan Rendah	21
Gambar 3.1. Kerangka Penelitian	24
Gambar 3.2. Ilustrasi Alur Penyaluran Energi Listrik	27
Gambar 3.3. Ilustrasi Penyaluran listrik ke titik-titik Beban	28
Gambar 3.4. Gambar Ilustrasi Jaringan.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Sampel Jaringan Tegangan Rendah	28
Tabel 3.2. Resistansi Kabel Distribusi (Tembaga).....	30
Tabel 3.3. Tipe Tarif Pelanggan PLN	31
Tabel 3.4. Variasi Pembebanan Pelanggan Industri.....	37
Tabel 4.1. Tabel Pelanggan PLN APJ Cempaka Putih	40
Tabel 4.2. Susut Teknis dan Efisiensi Kondisi Real di Area Cempaka Putih.....	43
Tabel 4.3. Susut Teknis dan Efisiensi Pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA)	44
Tabel 4.4. Susut Teknis dan Efisiensi Pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA)	45
Tabel 4.5. Susut Teknis dan Efisiensi Pelanggan I2 (di atas 14 kVA s.d 200 kVA)	46
Tabel 4.6. Variasi Pembebanan dengan Komposisi dari Tiga Tipe Pelanggan	59

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1. Profil Beban Pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA)	32
Grafik 3.2. Profil Beban Pelanggan I1 (di atas 2200 VA s.d. 14 kVA).....	32
Grafik 3.3. Profil Beban Pelanggan I2 (di atas 14kVA s.d. 200kVA).....	33
Grafik 4.1. Profil Susut Satu Jenis Pelanggan Industri	47
Grafik 4.2. Efisiensi Jaringan Untuk Satu Jenis Pelanggan Industri.....	49
Grafik 4.3. Profil Susut dengan Komposisi Pelanggan 50%-50%	50
Grafik 4.4. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi Pelanggan 50%-50%	52
Grafik 4.5. Profil Susut dengan Komposisi Pelanggan 70%-30%	53
Grafik 4.6. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi Pelanggan 70%-30%	55
Grafik 4.7. Profil Susut dengan Komposisi Pelanggan 30%-70%	56
Grafik 4.8. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi Pelanggan 30%-70%	57
Grafik 4.9. Profil Susut dengan Komposisi Tiga Pelanggan Industri	60
Grafik 4.10. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi dari Tiga Tipe Pelanggan	62
Grafik 4.11. Efisiensi terhadap Komposisi Pelanggan.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Tabel Jaringan Distribusi Gardu TP 27	68
Lampiran 2: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) 50 % dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 50%	70
Lampiran 3: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) 50 % dan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) 50%	71
Lampiran 4: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 50 % dan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) 50%	72
Lampiran 5: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 70 % dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 30%	73
Lampiran 6: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 70 % dan I2 (di atas 14 kVA) 30%.....	74
Lampiran 7: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 70 % dan I2 (di atas 14 kVA) 30%	75
Lampiran 8: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 30 % dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 70%	76
Lampiran 9: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 30 % dan I2 (di atas 14 kVA) 70%.....	77
Lampiran 10: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 70 % dan I2 (di atas 14 kVA) 30%	78
Lampiran 11: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 50%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 25 % dan I2 25%.....	79
Lampiran 12: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 25%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 50 % dan I2 25%.....	80
Lampiran 13: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 25%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 25 % dan I2 50%.....	81
Lampiran 14: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 34%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 34% dan I2 32%.....	82
Lampiran 15: Tabel Rekap Akhir Susut Teknis, Daya Masuk, Daya Keluar, dan Efisiensi dari Seluruh Variasi Pembebanan	83

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri adalah salah satu sektor usaha yang memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian negara. Selama ini, Industri Pengolahan menjadi penyumbang utama tertinggi terhadap perekonomian nasional, hal ini dapat dilihat dari Produk Domestik Bruto (PDB). Pada tahun 2009, sektor Industri Pengolahan memberi sumbangan 26,38 persen terhadap PDB total dan rata-rata kontribusi sektor ini (tahun 2005-2009) yaitu sebesar 27,47 persen.¹

Peran sektor Industri yang sangat penting terhadap perekonomian nasional membuat pemerintah memberikan perhatian khusus kepada pertumbuhan sektor ini. Para pelaku usaha, yang diwakili oleh Ketua Asosiasi Pengusaha Indonesia Sofjan Wanandi, memproyeksikan pertumbuhan industri di 2012 sama dengan proyeksi pertumbuhan ekonomi tahun ini sebesar 6,4 persen. Pertumbuhan sektor Industri yang terus meningkat dari tahun ke tahun menuntut tersedianya infrastruktur yang memadai untuk berlangsungnya proses industri. Salah satu infrastruktur yang menjadi peranan penting adalah ketersediaan pasokan listrik yang dapat menunjang sektor industri. Perusahaan Listrik Negara (PLN) merupakan badan negara yang memiliki wewenang dalam mengatur lalu lintas listrik di Indonesia, namun PLN memiliki kewajiban untuk menyediakan listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia, entah dari golongan masyarakat, perusahaan kantor ataupun industri-industri.

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi PLN adalah besarnya rugi-rugi daya yang terjadi selama proses pengiriman listrik tersebut kepada konsumen. Rugi-rugi daya ini menyebabkan daya yang dikirimkan tidak sebesar daya yang dihasilkan, apabila dikonversi menjadi satuan rupiah, maka bisa dikatakan banyak uang yang terbuang secara percuma.

Rugi-rugi daya tersebut berhubungan dengan banyak faktor, salah satunya jumlah pemakai, karena hal tersebut berhubungan langsung dengan arus yang

¹ Rencana Strategis Kementerian Perindustrian Tahun 2010-2014, Kementerian Perindustrian, 2010

dikeluarkan, dan semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar rugi-rugi daya karena kabel dan masalah teknis lainnya. Pemasangan transformator yang cocok dengan daya yang terpasang juga berpengaruh terhadap besarnya daya yang dihasilkan, karena apabila transformator berkapasitas kecil diharuskan menyuplai beban besar, maka akan terjadi *overload* dan bisa menyebabkan kerusakan pada transformator, sebaliknya jika transformator berkapasitas besar sementara beban yang terhubung kecil, maka transformator akan bekerja pada efisiensi yang kecil, dan berakibat adanya rugi-rugi daya pada transformator. Kemudian ada juga kemungkinan pencurian listrik oleh masyarakat yang tidak bertanggung jawab dan hal ini sangat sering terjadi di kehidupan nyata.

Seiring dengan kewajiban PLN untuk menyediakan listrik yang berkualitas kepada pelanggan, maka diperlukan standar pelayanan yang baik. Berkaitan dengan itu akan dianalisis bagaimana perilaku pelanggan industri berpengaruh terhadap rugi-rugi daya yang terjadi, sehingga bisa dilihat potensi perbaikan sistem yang sudah ada untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh profil beban pelanggan industri terhadap susut teknis di jaringan tegangan rendah pada wilayah PLN Area Pelayanan Jaringan (APJ) Cempaka Putih, sehingga bisa diketahui tingkat susut dan efisiensi jaringan rendah pada wilayah tersebut. Selain itu, dari penelitian ini diharapkan dapat melihat komposisi yang cocok untuk menekan susut pada jaringan tegangan rendah.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan skripsi ini akan dibatasi pada analisis besarnya rugi-rugi daya teknis yang dialami PLN akibat perilaku pemakaian listrik oleh pelanggan industri. Pelanggan yang diperhitungkan adalah golongan I1 (450 VA s.d. 2200 VA), I1 (di atas 2200 VA s.d. 14 kVA), dan I2 dengan kurva beban masing-masing pelanggan dengan asumsi sistem memiliki beban seimbang pada setiap jam. Sementara simulasi sistem yang digunakan adalah dengan menggunakan data aset yang didapat dari PLN Area Pelayanan Jaringan (APJ) Cempaka Putih.

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah dengan adanya studi literatur tentang rugi-rugi daya yang mungkin terjadi di sistem distribusi, lalu adanya pengambilan data sekunder di PLN APJ Cempaka Putih yang akan digunakan sebagai data pendukung dan bahan untuk perhitungan. Kemudian dari data tersebut akan dibuat analisis perhitungan dengan model yang disesuaikan dengan data asset PLN APJ Cempaka Putih.

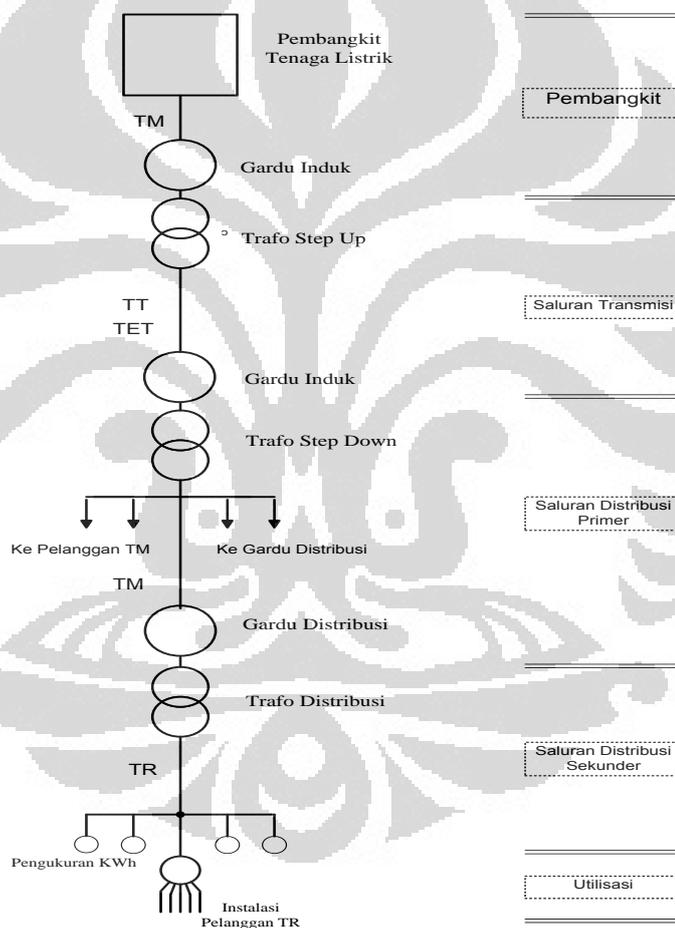
1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini dibagi menjadi lima bab dengan rincian bab satu berisi latar belakang penulisan skripsi tentang mengapa analisis rugi daya teknis pada jaringan pelanggan industri perlu dilakukan, kemudian juga dijelaskan tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan skripsi. Bab dua menjelaskan tentang landasan teori yang menjadi acuan untuk metode analisis, baik itu dari dasar sistem tenaga listrik, komponen-komponen yang digunakan pada sistem distribusi, dan susut teknis yang ada pada jaringan. Bab tiga membahas tentang metodologi yang digunakan dalam melakukan penelitian dan penulisan, langkah-langkah yang dilakukan, parameter-parameter yang dicari saat melakukan pengolahan data, dan urutan penulisan yang dilakukan. Bab empat berisi pengolahan data dan analisis yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penulisan skripsi ini. Terdapat sampel pengolahan data untuk mencari susut dan analisis susut, serta efisiensi dari jaringan tegangan rendah. Bab lima mencakup tentang kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian ini.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik memiliki pengertian suatu kesatuan dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, dan unit distribusi listrik yang menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut. Secara umum skema STL adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1. Skema Sistem Tenaga Listrik

Sumber: Susanto, Daman. "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

Tenaga listrik dibangkitkan oleh generator dalam sistem pembangkitan. Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan dinaikkan oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) di gardu induk transmisi. Tujuan

dinaikkannya tegangan transmisi supaya rugi-rugi yang terdapat dalam proses transmisi menjadi lebih kecil. Kerugian energi yang timbul sebanding dengan nilai kuadrat dari arus. Dengan daya yang ditransmisikan sama, apabila nilai tegangan dinaikkan maka nilai arus semakin kecil, sehingga rugi-rugi energi juga kecil, dan sebaliknya. Secara umum, sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi.

- Pembangkitan

Listrik dapat dibangkitkan dengan berbagai macam cara. Saat ini di dunia banyak yang menggunakan hidroelektrik, nuklir, dan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil di sini bisa berarti batu bara, gas alam, ataupun minyak bumi. Namun kecenderungan akan kelangkaan bahan bakar fosil mendorong para ilmuwan untuk mencari alternatif sumber energi baru, yaitu biasa digunakan geothermal, air, dan angin. Pada intinya prinsip kerja semua pembangkit listrik adalah sama, yaitu menggunakan sumber-sumber energi tersebut untuk memutar turbin yang akan menghasilkan listrik.

Biasanya dalam satu sistem kelistrikan terdiri dari beberapa pembangkit listrik, dan tidak mungkin semuanya beroperasi setiap waktu, pengoperasian pembangkit-pembangkit listrik tersebut disesuaikan dengan beban yang beroperasi, apakah sedang beban normal atau beban puncak, biasanya untuk beban normal cukup menggunakan pembangkit - pembangkit besar yang membutuhkan waktu lama untuk *starting*, sementara saat akan mencapai beban puncak, pembangkit listrik tambahan beroperasi, yaitu pembangkit yang membutuhkan waktu cepat untuk *starting*.

Rasio yang biasa digunakan untuk menyatakan utilitas dari pembangkit adalah *load factor* dan *capacity factor*. *Load factor* merupakan beban rata-rata yang dibandingkan dengan beban puncak pada periode yang sama, sementara *capacity factor* merupakan perbandingan antara beban rata-rata dengan output kapasitas dari pembangkit.

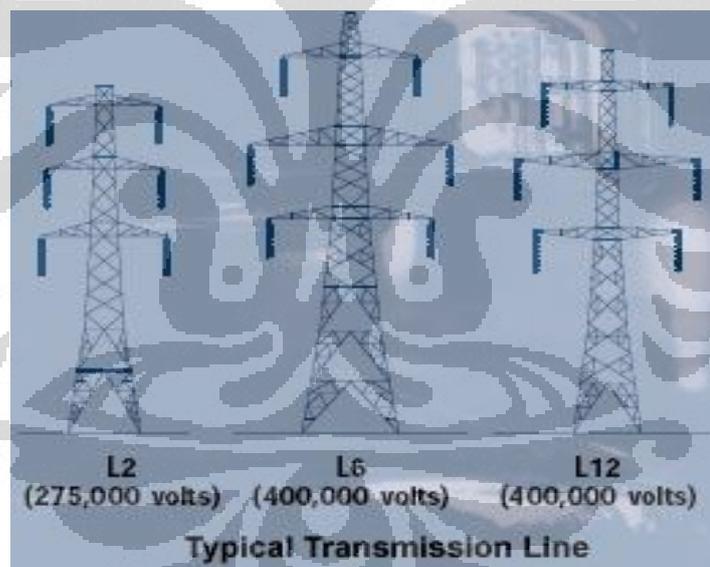
- Transmisi

Transmisi merupakan komponen yang sangat vital dalam sistem tenaga listrik, hal ini disebabkan karena jarak yang digunakan untuk transmisi biasanya jauh, sehingga proteksi sistem harus benar-benar dipikirkan, karena yang merusak

sistem bisa dari faktor alam ataupun faktor teknis. Biasanya tahap transmisi dimulai dari Gardu Induk sampai Gardu Distribusi, dengan level tegangan yang paling tinggi di sistem kelistrikan yang terpasang.

Komponen paling penting di transmisi adalah konduktor. Bahan yang paling umum digunakan untuk penghantar adalah tembaga, aluminium, dan baja. Pemilihan bahan itu dilihat dari daya hantar, biaya, dan kekuatan fisik. Sementara ada dua kategori desain penghantar yang biasa digunakan dalam mentransmisikan listrik, yaitu *overhead lines* dan *underground cables*.

Overhead lines biasanya menggunakan udara sebagai isolasi kawat. Dari segi biaya lebih murah karena tidak dibutuhkan isolasi pada kawat, namun harus ada proteksi lebih karena sangat rendah terhadap gangguan, seperti petir, pesawat, burung, ataupun gangguan-gangguan lainnya.



Gambar 2.2. *Overhead Lines*

Sumber: www.nationalgrid.com

Sementara *underground cables* merupakan jalur transmisi menggunakan kabel bawah tanah atau bawah laut. Sistem ini biasa digunakan di kota-kota dengan alasan estetika, namun isolasi yang digunakan sangat memakan biaya, karena kabel tersebut harus tahan terhadap tekanan tanah ataupun air laut.

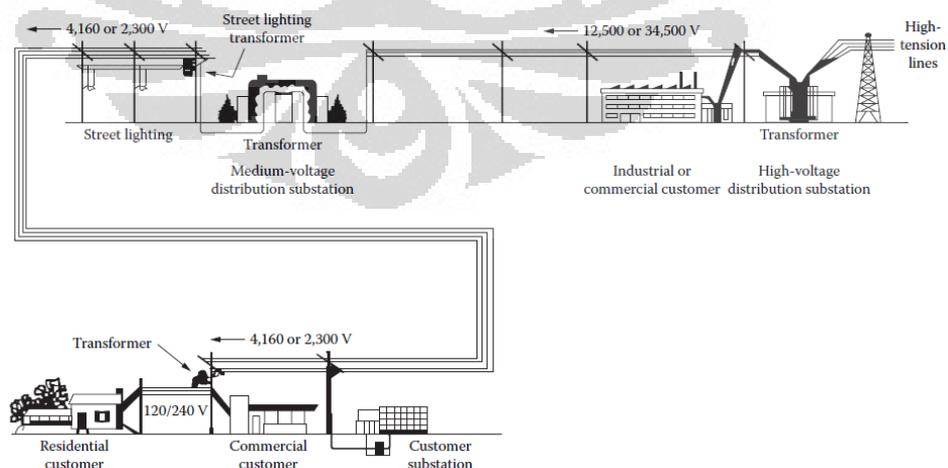


Gambar 2.3. *Underground cables*

Sumber: www.erkaelektrik.com

- Distribusi

Distribusi merupakan bagian yang menghubungkan antara sisi transmisi dengan konsumen, biasanya dimulai dari gardu distribusi dan berakhir di konsumen. Topologi yang umum digunakan di distribusi adalah radial, ring, mesh, ataupun spindle. Semakin besar suatu kota, maka akan semakin rumit jaringannya, dan semakin rumit jaringan tersebut, semakin banyak komponen sistem tenaga listrik yang bisa terhubung. Berikut adalah skema umum dari distribusi:



Gambar 2.4. Skema Umum Distribusi Listrik

Sumber: AC Power System Handbook

Secara umum, terdapat dua metode dalam pendistribusian tenaga listrik, yaitu distribusi langsung ataupun tidak langsung. Sistem distribusi langsung merupakan sistem penyaluran listrik yang tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu, umumnya dilakukan apabila lokasi pembangkit dekat dengan konsumen. Sementara sistem distribusi tidak langsung dilakukan jika lokasi Pembangkit Listrik dan konsumen berjauhan, sehingga dibutuhkan saluran transmisi.

Sementara menurut PUIL 2000, klasifikasi tegangan yang digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut,

- Tegangan Ekstra Rendah, dengan batasan sampai nilai tegangan setinggi-tingginya 50 V
- Tegangan Rendah, level tegangan dari 50 V sampai 1000 V, level tegangan ini biasa digunakan di konsumen-konsumen, ada yang 220 V ataupun 110 V
- Tegangan Menengah, level tegangan dari 1000 V sampai 35000 V, level tegangan ini biasa digunakan di sistem distribusi, dengan nilai nominal 20000 V
- Tegangan Tinggi, level tegangan di atas 35000 V sampai 245000 V, biasa digunakan di saluran transmisi
- Tegangan Ekstra Tinggi, dengan nilai nominal di atas 245000 V, digunakan juga di sistem transmisi.

Nilai-nilai tegangan di atas merupakan level tegangan yang biasa digunakan di sistem tenaga listrik Indonesia.

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (*Bulk Power Source*) dengan konsumen tenaga listrik. Sedangkan fungsinya adalah menyalurkan tenaga listrik ke beberapa pelanggan dan merupakan subsistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan.

2.2.1 Komponen Sistem Distribusi

Secara umum yang termasuk komponen sistem distribusi antara lain [2]:

1. Gardu Induk

Gardu induk merupakan unit di dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan ke sistem distribusi. Di dalam Gardu Induk tegangan dari sistem transmisi (150 kV-500 kV) akan diubah menjadi tegangan untuk distribusi (20 kV).

2. Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu gardu distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan. Seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 500 kV, amka setelah masuk GI tegangan akan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan untuk distribusi). Sehingga jaringan ini dinamakan subtransmisi karena masih bertegangan tinggi.

3. Gardu Distribusi Utama

Gardu distribusi merupakan unit dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari GI atau dari jaringan sub transmisi untuk kemudian disalurkan kepada penyulang primer atau langsung kepada konsumen.

4. Saluran Penyulang Utama

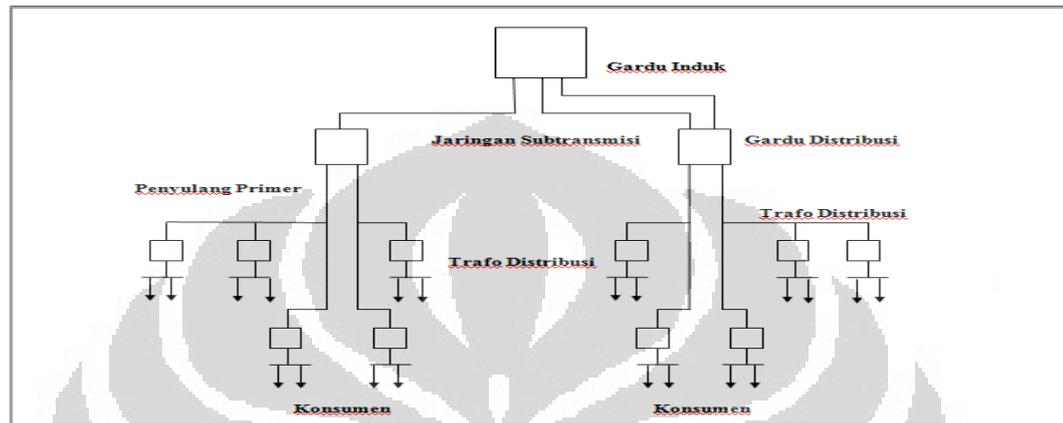
Saluran penyulang utama merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antara gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi atau menghubungkan Gardu Induk (GI) dengan transformator distribusi.

5. Transformator Distribusi

Transformator Distribusi berada di dalam gardu gardu distribusi. Berfungsi untuk mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 kV). Kemudian daya dengan tegangan rendah tersebut disalurkan kepada konsumen.

6. Rangkaian Sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang simpul simpul distribusi.



Gambar 2.5. Komponen Penyusun Sistem Distribusi

Sumber: Electrical Transmission and Distribution Reference Book

Saluran distribusi ini terhubung dengan pusat-pusat beban yang terbagi menjadi berbagai macam golongan. Penggolongan PLN untuk pelanggan listrik di Indonesia adalah sebagai berikut :

- Pelanggan Residensial

Merupakan pelanggan rumah tangga biasa, atau masyarakat umum. Golongan ini dibagi menjadi 3, yaitu R1, R2, dan R3. R1 adalah pelanggan residensial dengan daya terpasang 450 VA s.d. 2200 VA, R2 pelanggan dengan daya terpasang di atas 2200 VA sampai 6600 VA, sementara R3 merupakan pelanggan dengan daya terpasang di atas 6600 VA dan biasanya sudah tiga fasa.

- Pelanggan Sosial

Merupakan golongan yang bersifat sebagai sarana sosial, contohnya tempat-tempat ibadah atau puskesmas. Kategori ini juga terbagi menjadi 3 kelas S1, S2, dan S3. S1 dengan kapasitas 220 VA s.d. 450 VA. S2

memiliki kapasitas 450 VA s.d. 200 kVA, sementara S3 dengan kapasitas di atas 200 kVA.

- Pelanggan Bisnis

Golongan ini biasa digunakan oleh kantor-kantor ataupun supermarket maupun minimarket, dengan kata lain merupakan bangunan yang bisa menghasilkan uang walaupun tidak memproduksi barang. Ruko bisa termasuk ke dalam golongan ini juga. Ketiga golongan di bisnis adalah B1, B2, dan B3. B1 berkapasitas 450 VA s.d. 2200 VA, B2 dengan kapasitas 2200 VA s.d. 200 kVA, dan B3 memiliki kapasitas di atas 200 kVA.

- Pelanggan Industri

Berbeda dengan pelanggan bisnis, untuk kelas industri, pelanggan merupakan bangunan yang mampu menghasilkan uang namun harus ada barang yang dihasilkan, contohnya pabrik-pabrik ataupun percetakan. Ketiga golongan I1, I2, I3 memiliki kapasitas dengan I1 450 VA s.d. 14 kVA, I2 di atas 14 kVA s.d. 200 kVA, dan I3 di atas 200 kVA.

- Pelanggan Publik

Pelanggan ini digunakan untuk fasilitas umum, seperti penerangan lampu. P1 memiliki kapasitas 450 VA s.d. 200 kVA, P2 berkapasitas di atas 200 kVA, dan P3 digunakan untuk penerangan jalan umum.

2.2.2 Persyaratan Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan sistem terdekat dan langsung berhubungan ke pelanggan listrik. Kualitas mutu listrik yang dikirimkan merupakan suatu keharusan untuk dijaga agar tidak mengecewakan pengguna listrik. Parameter parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas dari sistem distribusi antara lain:

2.2.2.1 Faktor Keandalan Sistem

- a. Kontinuitas listrik merupakan salah satu tuntutan dari setiap pelanggan listrik, karena pelayanan yang baik berarti tidak ada gangguan dalam

pengiriman yang menyebabkan mati listrik. Untuk memenuhi tuntutan ini, diperlukan cadangan-cadangan suplai listrik dengan penggolongan :

1. **Cadangan siap** merupakan suplai listrik yang didapat dari pembangkit-pembangkit yang tidak dibebani secara penuh namun beroperasi setiap saat
 2. **Cadangan panas** adalah cadangan yang didapat dari pusat-pusat pembangkit yang menggunakan tenaga termal ataupun PLTA yang memiliki kapasitas air yang siap bekerja setiap saat
 3. **Cadangan diam** adalah cadangan tenaga dari pusat-pusat pembangkit yang tidak bekerja namun memiliki waktu *starting* yang cepat sehingga langsung bisa bekerja ketika dibutuhkan.
- b. Kemudahan akan identifikasi dan perbaikan kerusakan juga menjadi salah satu faktor keandalan sistem. Salah satu cara untuk membantu proses ini adalah dengan pemasangan relay-relay dan switch di lokasi-lokasi penting, sehingga bisa mengisolir wilayah yang mengalami gangguan
 - c. Sistem proteksi berjalan dengan baik dan responsif

2.2.2.2 Faktor Kualitas Sistem

- a. Kualitas tegangan yang stabil merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas suatu sistem tenaga listrik.
- b. Menurut *IEC Publication 38/1967*, tegangan jatuh pada setiap wilayah beban dibatasi sampai 10%, karena itu harus ada voltage regulator pada setiap sistem.
- c. Peralatan yang tersedia harus tahan terhadap tegangan lebih dalam waktu singkat

2.2.2.3 Faktor Keselamatan

- a. Keselamatan penduduk pada wilayah yang ada peralatan transmisi dan distribusi harus terjamin, seperti contoh dapat diletakkan papan peringatan bahaya listrik ataupun pagar-pagar pembatas.

- b. Alat keselamatan bagi pekerja instalasi listrik juga harus terjamin dengan baik, selain itu sistem pengaman dan pelindung harus terpasang di peralatan ataupun di jaringan.

2.2.2.4 Faktor Pemeliharaan

Proses pemeliharaan penting adanya dikarenakan ini berkaitan dengan umur dari peralatan peralatan yang digunakan serta kualitas sistem tetap terjaga dengan baik. Proses pemeliharaan ini harus berkala dikukan dengan membuat jadwal pemeliharaan baik pemeliharaan harian, mingguan, bulanan, atau bahkan tahunan. Selain itu proses pemeliharaan ini penting adanya agar mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan pada peralatan, mengurangi lama waktu pemadaman akibat sering terjadinya gangguan dan meningkatkan keamanan (*safety*) peralatan. Jenis pemeliharaan sendiri dapat dibedakan menjadi :

- *Predictive Maintenance (Conditional Maintenace)*
yaitu pemeliharaan yang dilakukan dengan memperkirakan waktu terjadinya kerusakan atau kegagalan pada peraltan listrik. Dengan memperkirakan kemungkinan terjadinya kegagalan, dapat diketahui tanda – tanda kerusakan secara dini. Proses pemeliharaan ini membutuhkan pekerja dan peralatan yang mampu memantau dan menganalisis terjadinya kerusakan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan kondisi (*conditional maintenance*).
- *Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)*
yaitu pemeliharaan yang dilakukan sebagai bentuk dari tindakan pencegahan agar kerusakan alat tidak terjadi secara tiba – tiba. Selain itu, pemeliharaan juga bertujuan untuk mempertahankan kinerja peralatan agar sesuai dengan umur teknisnya
- *Corrective Maintenance (Currative Maintenance)*
Pemeliharaan yang dilakukan dengan memperbaiki serta menyempurnakan peralatan yang mengalami gangguan. agar perlatan listrik mampu bekerja kembali secara optimal. Pemeliharaan ini

disebut juga sebagai *curative maintenance* yang berupa *trouble shooting*

- *Breakdown Maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan apabila terjadi gangguan yang mengakibatkan peralatan tidak berfungsi dengan baik terjadi secara mendadak (waktunya tidak menentu dan bersifat darurat).

2.2.2.5 Faktor Perencanaan

Perencanaan harus dilakukan sebaik mungkin, sehingga memudahkan untuk perkembangan lebih lanjut.

2.3 Penyaluran Tenaga Listrik

Terdapat dua cara dalam menyalurkan atau distribusi tenaga listrik ke daerah pemukiman, antara lain melalui gardu gardu distribusi atau melalui penyaluran setempat.

2.3.1 Gardu Distribusi

Penyaluran daya dengan menggunakan gardu distribusi menggunakan sistem tiga fasa untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) dengan transformator tiga fasa dengan kapasitas yang cukup besar. Jaringan tegangan rendah ditarik dari sisi sekunder transformator untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Sistem tiga fasa tersedia untuk seluruh daerah pelayanan distribusi, walaupun sebagian besar konsumen mendapat pelayanan distribusi tenaga listrik satu fasa. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat udara sistem tiga fasa tiga kawat. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa empat kawat dengan netral. Gardu distribusi sendiri dari instalasinya dapat dibedakan menjadi [3] :

- Gardu Tembok (Gardu Beton)

Gardu hubung atau gardu trafo yang secara keseluruhan konstruksinya terbuat dari tembok/beton.



Gambar 2.6. Konstruksi Gardu Beton
Sumber: Dokumentasi PLN Area Cempaka Putih, 2011

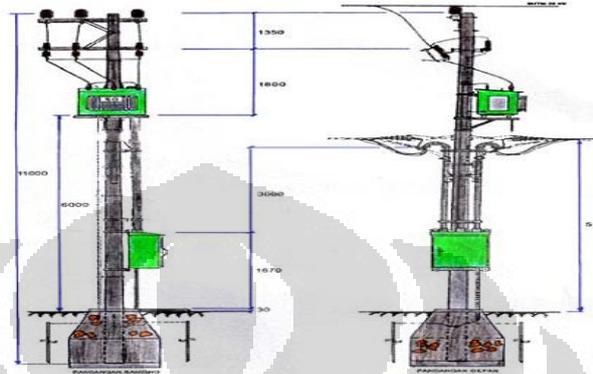
- Gardu Besi (Gardu *Metal Clad*)
Gardu hubung atau gardu trafo yang bangunan keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios.



Gambar 2.7. Konstruksi Gardu *Metal Clad*
Sumber: Dokumentasi PLN Area Cempaka Putih

- Gardu Portal

Gardu hubung atau gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada 2 buah tiang atau lebih.



Gambar 2.8. Konstruksi Gardu Portal

Sumber: Suhadi, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

- Gardu Mobil

Gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa sebuah mobil (diletakkan diatas mobil), sehingga bisa dipindah-pindah sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Oleh karenanya gardu mobil ini pada umumnya untuk pemakaian sementara (darurat), yaitu untuk mengatasi kebutuhan daya yang bersifat temporer.



Gambar 2.9. Konstruksi Gardu Mobil

Sumber: Dokumentasi pribadi Alfian YH

Pada setiap gardu distribusi umumnya terdiri dari empat ruang (bagian) yaitu, bagian penyambungan/pemutusan sisi tegangan tinggi, bagian pengukuran sisi tegangan tinggi, bagian trafo distribusi dan bagian panel sisi tegangan rendah. Pada gardu beton dan gardu metal bagian-bagian tersebut tersekat satu dengan lainnya, sedang pada gardu tiang panel distribusi tegangan rendah diletakkan pada bagian bawah tiang. Pada gardu distribusi, sistem pengamanan yang digunakan umumnya berupa arrester untuk mengantisipasi tegangan lebih (over voltage), kawat tanah (ground wire) untuk melindungi saluran fasa dari sambaran petir dan sistem pentanahan untuk menetralkan muatan lebih, serta sekering pada sisi tegangan tinggi (fuse cut out) untuk memutus rangkaian jika terjadi arus lebih (beban lebih).

2.3.2 Penyaluran Setempat

Penyaluran daya dengan menggunakan penyaluran setempat umumnya digunakan pada daerah dengan kondisi beban perumahan ataupun beban kantor/bisnis tidak terlalu besar, atau pada suatu daerah dengan tingkat pertumbuhan beban yang tinggi. Untuk jaringan tegangan menengahnya menggunakan sistem tiga fasa dengan percabangan satu fasa. Sementara untuk jaringan tegangan menengahnya menggunakan sistem satu fasa. Transformator yang digunakan memiliki kapasitas yang kecil dan cenderung dekat dengan konsumen. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat udara sistem tiga fasa empat kawat dengan netral. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa tiga kawat bersama netral.

2.4 Tegangan Distribusi

Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain :

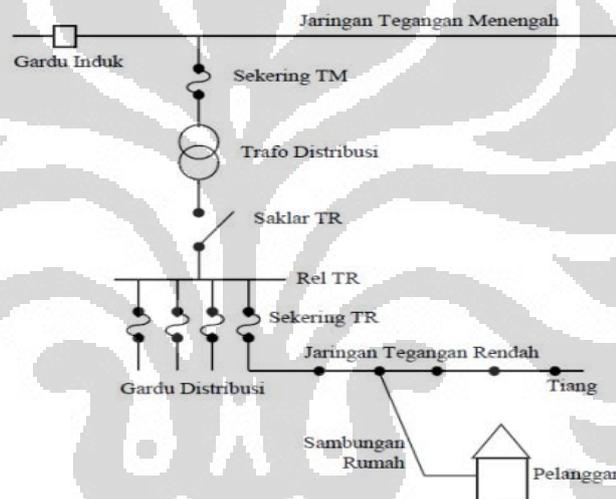
2.4.1 Tegangan Menengah (TM)

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang nilai 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk di Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20

kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran tenaga listrik dari GI menuju gardu gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

2.4.2 Tegangan Rendah (TR)

Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai di bawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyaluran dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi dengan netral. Di Indonesia menggunakan tegangan rendah 380/220 V. Dengan 380 V merupakan besar tegangan antar fasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa netral.



Gambar 2.10. Saluran Distribusi Tegangan Rendah

Sumber: Djiteng Marsudi, 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*

2.4.3 Tegangan Pelayanan

Tegangan pelayanan merupakan ketetapan dari penyedia listrik untuk pelanggan pelanggannya. Di Indonesia besarnya tegangan pelayanan pada umumnya antara lain :

- 380/220 V tiga fasa empat kawat
- 220 V satu fasa dua kawat
- 6 kV tiga fasa tiga kawat
- 12 kV tiga fasa tiga kawat
- 20 kV tiga fasa tiga kawat

Dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir ini sistem distribusi mengarah kepada sitem dengan tegangan yang lebih tinggi. Dengan sistem distribusi yang lebih tinggi ini, maka sistem akan dapat membawa daya lebih besar dengan nilai arus yang sama. Arus yang lebih kecil berarti jatuh tegangan yang lebih kecil, rugi rugi lebih sedikit dan kapasitas membawa daya yang lebih besar.

2.5 Susut Energi Jaringan

Susut energi merupakan adanya energi yang hilang akibat berbagai macam sebab, secara umum susut energi tersebut diklasifikasikan menjadi dua bagian utama, yaitu susut teknis dan susut non teknis.

Susut Non-Teknis merupakan susut atau daya yang hilang akibat faktor-faktor non teknis, dalam artian merupakan susut yang benar-benar tidak bisa diperhitungkan penyebab dari susut ini. Beberapa contoh dari penyebab susut non teknis ini adalah adanya pencurian listrik, karena banyak masyarakat tidak bertanggung jawab yang langsung mencuri listrik dari gardu tanpa melalui izin dari PLN, sehingga mengakibatkan adanya pemakaian energi listrik yang tidak wajar atau melewati batas normal. Penyebab lain yang sering terjadi juga adalah karena adanya kesalahan dalam pencatatan nilai. Lebih jelas parameter yang harus diperhatikan yang seringkali menjadi penyebab timbulnya susut non teknis adalah sebagai berikut :

- Pengukuran Energi Listrik
- Pencatatan meter pelanggan
- Pemakaian sendiri
- Prosedur perhitungan dan pelaporan susut
- Kontak pelanggan
- Konfigurasi Jaringan

Sementara susut teknis merupakan susut yang terjadi karena memang ketidaksempunaan sistem, dengan kata lain susut yang sudah pasti ada dan biasanya dapat dibuat model perhitungannya. Secara umum rumusan dari susut teknis berasal dari rumus berikut :

$$P_{susut} = I_{saluran}^2 \times R_{kabel} \quad (2.1)$$

I : besar arus yang mengalir di jaringan

R : besar hambatan dalam penghantar

Kemudian besar hambatan kabel tersebut didefinisikan dengan persamaan

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (2.2)$$

R : hambatan dalam penghantar

ρ : hambatan jenis penghantar

l : panjang penghantar

A : luas penampang penghantar

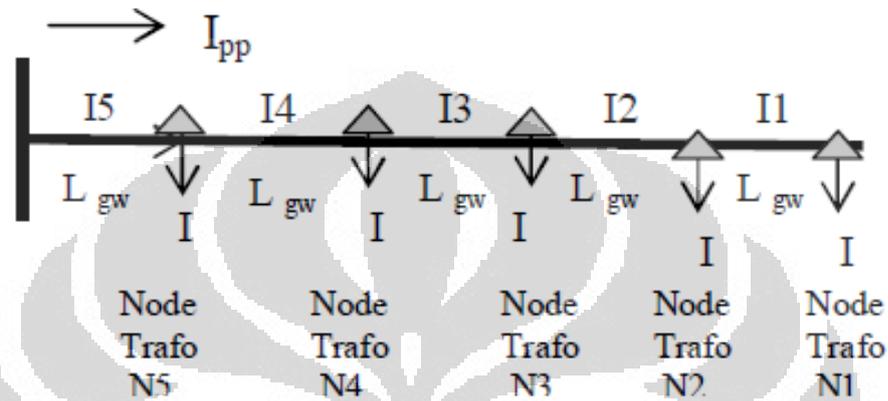
Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa secara sederhana rugi-rugi di jaringan diakibatkan oleh besar arus yang mengalir, ini dipengaruhi terutama oleh pusat-pusat beban, semakin banyak beban yang bekerja maka akan semakin besar pula arus yang mengalir di jaringan. Kemudian juga disebabkan oleh penghantar itu sendiri, semakin bagus penghantar maka hambatan dalam penghantar juga akan lebih kecil.

Namun ternyata dalam konteks sistem tenaga listrik, sangat sulit untuk menjelaskan susut teknis pada suatu jaringan hanya dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijabarkan sebelumnya. Dalam saluran distribusi, susut yang terjadi di setiap jaringan dihitung secara lebih detail.

2.5.1 Susut Jaringan Tegangan Rendah

Merupakan susut yang terjadi pada jaringan distribusi primer, dengan kata lain merupakan susut yang terjadi pada tegangan nominal 380/220 Volt. Pemodelan dilakukan dengan melihat sisi sekunder transformator distribusi sebagai sumber dan tiang-tiang penyaluran sebagai titik beban. Selain itu susut yang diperhitungkan biasanya merupakan susut untuk tiga fasa, sementara untuk

mencari susut tiap fasa biasanya menggunakan data penggunaan arus setiap fasanya. Hal yang perlu diperhatikan adalah adanya kemungkinan pemakaian transformator satu fasa, sehingga ada pembagian arus apabila dipasangkan dengan transformator tiga fasa. Namun hal tersebut jarang terjadi sehingga tidak terlalu harus diperhitungkan.



Gambar 2.11. Susut Jaringan Tegangan Rendah

Untuk model di atas, persamaan yang biasa digunakan adalah

$$P_{susut\ 3\ fasa} = 3 \times \sum_1^n n^2 \times I_{tb}^2 \times R_{JTM} \times LsF \quad (2.3)$$

P_{susut} = Susut jaringan (W)

n = jumlah titik beban (transformator distribusi atau khusus)

I_{tb} = besar arus yang masuk ke titik beban (A)

R_{JTM} = besar resistansi penghantar pada JTM (Ω)

LsF = faktor susut

2.5.2 Susut Transformator

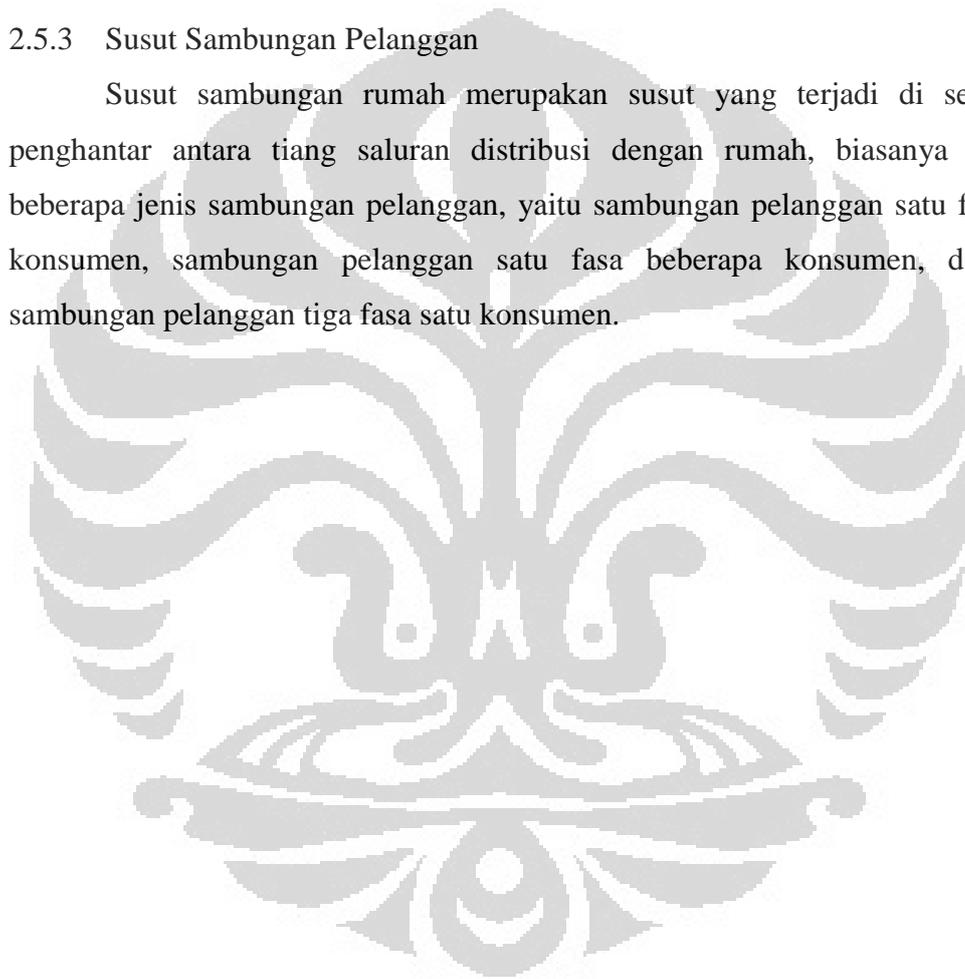
Susut transformator merupakan susut yang terjadi akibat rugi-rugi di transformator. Susut transformator ini terdiri dari susut besi dan susut tembaga, susut besi biasanya tergantung dari tegangan dan bersifat konstan, sementara susut tembaga kuadrat dari tingkat pembebanan. Susut dari transformator dapat dituliskan dengan :

$$P_{trafo} = (P_{besi} + P_{tembaga} \times K^2) \times LsF \quad (2.4)$$

$P_{transformator}$	= susut akibat transformator (W)
P_{besi}	= susut akibat bahan besi (W)
$P_{tembaga}$	= susut akibat lilitan tembaga di transformator (W)
K	= tingkat pembebanan
LsF	= faktor susut

2.5.3 Susut Sambungan Pelanggan

Susut sambungan rumah merupakan susut yang terjadi di sepanjang penghantar antara tiang saluran distribusi dengan rumah, biasanya terdapat beberapa jenis sambungan pelanggan, yaitu sambungan pelanggan satu fasa satu konsumen, sambungan pelanggan satu fasa beberapa konsumen, dan juga sambungan pelanggan tiga fasa satu konsumen.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penjelasan Umum

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh profil beban pelanggan industri terhadap efisiensi sistem. Sehingga objek bahasan adalah pelanggan industri yang berada pada jaringan tegangan rendah 220 V. Pelanggan industri yang dibagi menjadi 3 golongan I1 (450 VA s.d. 2200 VA), I1 (3500 VA s.d. 14 kVA), dan I2 (di atas 14kVA s.d. 200 kVA). Masing-masing tipe pelanggan industri tersebut memiliki profil beban yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan kebutuhan listrik untuk menjalankan industri yang berbeda sehingga pola konsumsi listrik pun akan berbeda.

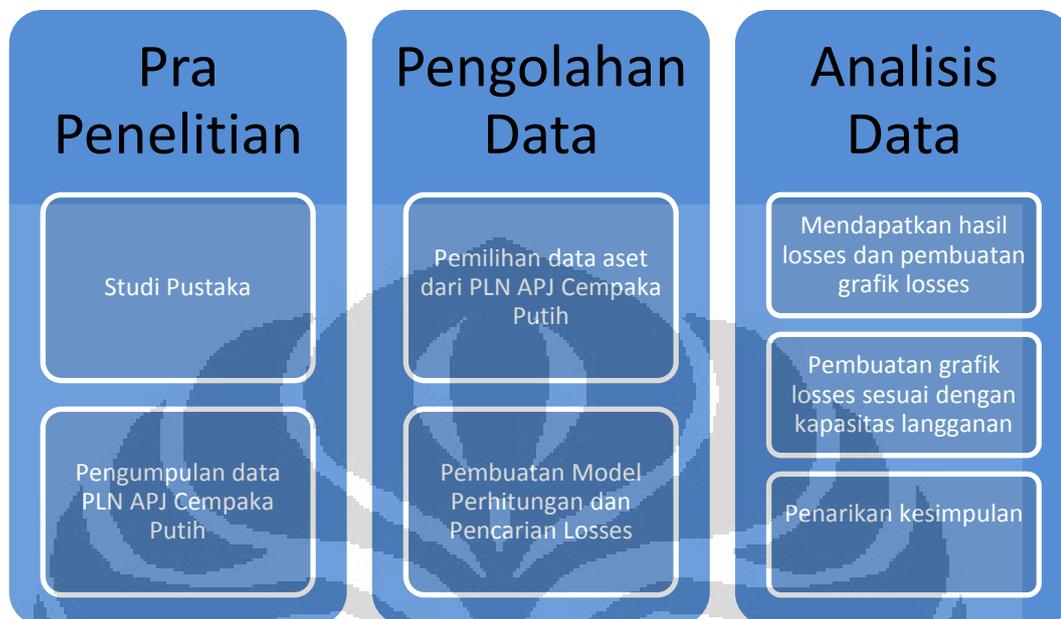
Penelitian ini akan dititikberatkan pada rugi-rugi yang terjadi pada jaringan tegangan rendah, berawal dari titik sekunder transformator distribusi dan berakhir pada industri dan melalui tiang-tiang listrik, dimana tiang-tiang listrik ini akan dianggap sebagai titik beban. Penelitian dilakukan pada DKI Jakarta wilayah Cempaka Putih, yang merupakan wilayah pelayanan PT PLN Area Pelayanan Jaringan Cempaka Putih.

Pada Metodologi Penelitian akan dijabarkan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, yang meliputi proses pengumpulan data dan studi literatur, pembuatan model jaringan, serta perhitungan dan analisis. Metodologi Penelitian ini merupakan tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka Penelitian merupakan penulisan langkah-langkah penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir. Kerangka Penelitian merupakan gambaran singkat dari Metodologi Penelitian, dimana dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap Pra Penelitian, kemudian tahap Pengolahan Data, dan yang terakhir adalah tahap Analisis Data. Kerangka pada penelitian ini dibuat dengan format seperti itu karena penelitian yang dilakukan sebagian besar menggunakan data sekunder, sehingga harus ada pengolahan data dengan membuat model sehingga hasil yang didapat sebisa mungkin mendekati nilai asli. Berikut adalah

kerangka penelitian yang dituliskan secara lebih detail dan digunakan dalam penelitian kali ini :



Gambar 3.1. Kerangka Penelitian

3.3 Tahap Pra Penelitian

Salah satu tahapan paling penting dari semua penelitian adalah pengumpulan data yang menunjang, karena data yang akan didapat akan sangat menentukan seperti apa pengolahan data yang akan digunakan. Tahapan pra penelitian yang ada dalam penulisan skripsi ini dipecah menjadi dua bagian lagi, yaitu studi pustaka dan pengumpulan data dari PLN APJ Cempaka Putih.

3.3.1 Studi Pustaka

Studi Pustaka merupakan tahapan paling mendasar dari semua penelitian, dengan tujuan mencari teori-teori yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan sehingga penelitian tersebut memiliki landasan yang kuat dan tidak asal-asalan. Berikut adalah teori-teori yang dicari dalam studi pustaka pada penelitian ini :

a. Dasar Sistem Tenaga Listrik

Teori mengenai Sistem Tenaga Listrik merupakan salah satu yang penting dicari karena berhubungan dengan teori susut dan komposisi jaringan,

kemudian juga pemilahan yang tepat untuk saluran, apakah bagian tersebut masih transmisi atau distribusi merupakan hal yang penting, sehingga tidak ada kekeliruan dalam pembuatan model.

b. Komponen-Komponen Distribusi

Komponen-komponen yang terdapat dalam saluran distribusi juga penting untuk diperhatikan sehingga dapat diketahui darimana sumber-sumber susut yang ada dalam jaringan.

c. Jenis Pelanggan

Jenis pelanggan yang ada Indonesia terbagi menjadi beberapa jenis, yang berhubungan dengan pengaruh susut yang disebabkan oleh perilaku penggunaan energi listrik pelanggan-pelanggan tersebut. Perlu diketahui jenis pelanggan sehingga memudahkan untuk tahap pengolahan data dan analisis.

d. Susut Energi Jaringan

Pengetahuan mengenai susut teknis yang terjadi di jaringan juga sangat penting, sehingga dapat diperoleh formula dan pemodelan yang tepat untuk melakukan pengolahan data dan analisis data. Selain itu, jenis-jenis dari susut energi juga perlu diketahui sehingga tidak ada kekeliruan dalam pembuatan model dan perhitungan.

3.3.2 Data PLN APJ Cempaka Putih

Selain data hasil dari studi literatur, juga diperlukan data yang didapat dari PLN APJ Cempaka Putih, karena sesuai tujuan penelitian akan dicari susut pada area Cempaka Putih, sehingga dibutuhkan data dari area tersebut. Selain itu data yang didapat diharapkan bisa memberikan validitas dari hasil perhitungan. Berikut adalah data yang dibutuhkan dari PLN APJ Cempaka Putih :

a. Data Aset Jaringan

Data aset jaringan merupakan salah satu data vital yang diperlukan. Dengan adanya data ini bisa didapatkan gambaran jaringan pada area Cempaka Putih. Data aset ini meliputi meliputi jumlah penyulang, jumlah gardu distribusi, kapasitas transformator gardu distribusi, dan jumlah tiang dalam satu jaringan tiap gardu distribusi, jenis penghantar. Data aset ini

digunakan untuk membuat model jumlah titik beban yang terdapat pada suatu jaringan tegangan rendah pada wilayah Cempaka Putih. Data aset ini didapat dari bagian Pemeliharaan PLN Area Pelayanan Jaringan Cempaka Putih.

b. Data Konsumsi Energi Listrik

Data konsumsi energi merupakan rekapan dari energi jual dan energi beli pada kurun waktu tertentu, biasanya dalam waktu bulanan. Dengan adanya data transaksi energi ini dapat diketahui besar pembebanan pada masing-masing penyulang dan gardu distribusi. Data yang didapat adalah data transaksi energi pada tahun 2011 dan pada bulan Januari - April 2012, sehingga bisa diketahui kecenderungan konsumsi sepanjang tahun. Data Konsumsi Energi Listrik ini didapat dari bagian Transaksi Energi PLN APJ Cempaka Putih.

c. Data Konsumsi Pelanggan

Data konsumsi pelanggan merupakan gambaran dari konsumsi energi para pelanggan dalam harian sehingga dapat diketahui perilaku konsumsi energi listrik dalam setiap jam. Data yang diambil merupakan pelanggan industri pada jaringan tegangan rendah dengan golongan I1 (450 VA s.d. 2200 VA), I1 (3500 VA s.d. 14 kVA), dan I2. Konsumsi pelanggan tersebut akan diolah sehingga didapatkan besarnya susut teknis dalam suatu jaringan tegangan rendah.

d. Data Standar

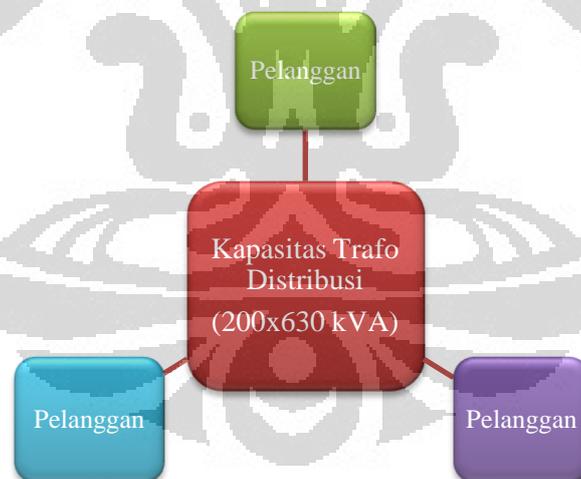
Data Standar ini merupakan data spesifikasi teknik yang meliputi tata cara dan metode instalasi listrik yang disepakati para pakar dan pihak-pihak terkait. Data standar ini memperhatikan berbagai faktor seperti kesehatan, keamanan, dan teknologi. Standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) dan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Standar ini digunakan dalam landasan teori dan analisis.

3.4 Klasifikasi Data

Setelah data-data dari PLN APJ Cempaka Putih didapat, maka dilakukan klasifikasi data untuk menentukan data-data yang digunakan.

3.4.1 Jaringan Tegangan Rendah

Studi susut energi pada jaringan tegangan rendah menganalisis susut teknis yang terjadi pada saluran mulai dari salah satu gardu distribusi dan pada titik-titik beban yang ada pada jaringan tegangan rendah tersebut, tentu saja wilayah yang diambil masih merupakan wilayah APJ Cempaka Putih. Gardu distribusi yang terdaftar pada data aset PLN memiliki tiga kapasitas yang biasa digunakan, yaitu 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA. . Sesuai dengan data yang didapat bahwa jumlah gardu distribusi pada PLN area pelayanan Cempaka Putih sebanyak 200 buah dan kapasitas masing-masing trafo distribusi diasumsikan memiliki kapasitas 630 kVA. Sehingga susut energi yang akan dianalisa merupakan susut energi dari total kapasitas sistem (200×630 kVA) yang terpasang untuk menyuplai energi listrik ke seluruh pelanggan.



Gambar 3.2. Ilustrasi Alur Penyaluran Energi Listrik

Kemudian hal yang berpengaruh terhadap analisis juga adalah panjang saluran yang akan berdampak pada banyaknya tiang pada jaringan tegangan rendah tersebut, karena tiang listrik dianggap sebagai titik beban dimana terdapat konsumen-konsumen yang harus disuplai pada titik beban tersebut. Jaringan yang

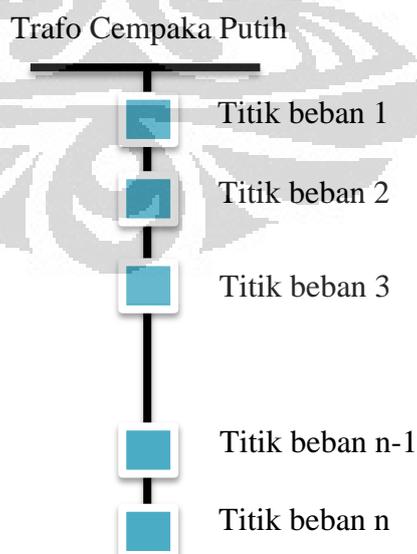
diambil sebagai sampel adalah jaringan dengan gardu distribusi TP 18, TP 27, dan TP 60. Berikut adalah spesifikasi dari jaringan tegangan rendah tersebut :

Tabel 3.1. Sampel Jaringan Tegangan Rendah

Penyulang	Gardu Distribusi	Kapasitas Gardu (kVA)	Jumlah Tiang	Panjang Jaringan (km)
Putih	TP 18	400	16	1,04
Putih	TP 27	630	47	1,154
Orange	TP 60	1000	85	9,88

Sumber : Data Aset PLN APJ Cempaka Putih

Gardu yang digunakan sebagai sampel jaringan adalah gardu distribusi TP 27. Gardu tersebut memiliki jarak 1154 meter dari gardu hingga titik beban terjauh dan memiliki jumlah titik beban sebanyak 47 tiang. Jaringan distribusi ini nantinya yang digunakan sebagai jaringan sampel dalam perhitungan dan penganalisaan susut energi yang terjadi pada kapasitas sistem terpasang. Tabel komponen Jaringan Distibusi Tegangan Rendah dari Gardu TP 27 dapat dilihat pada Lampiran 1. Jika digambarkan secara sederhana, maka jaringan-jaringan tersebut kira-kira seperti berikut :



Gambar 3.3. Ilustrasi Penyaluran listrik ke titik-titik Beban

Penghantar yang umum digunakan dalam sistem distribusi bisa berupa kawat ataupun kabel. Kawat hanya terdiri dari konduktor saja, sementara untuk kabel selain inti konduktor, masih terdapat lapisan semikonduktor, lapisan isolasi selubung dalam, dan lapisan selubung luar. Konduktor yang biasa digunakan bisa berbahan tembaga, aluminium, ataupun besi. Sementara di wilayah PLN APJ Cempaka Putih, penghantar yang digunakan adalah kabel, karena untuk distribusi dalam kota biasa digunakan kabel bawah tanah sehingga tidak merusak seni keindahan kota. Kabel distribusi pada data aset adalah XLPE 4 x 95 mm². Setiap penghantar memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung material penghantar tersebut. Material ini menentukan besar resistansi dari kabel dan kemampuan dari kabel tersebut dalam menghantarkan arus. Faktor eksternal yang mempengaruhi besarnya resistansi kabel penghantar adalah faktor suhu. Faktor suhu ini akan membuat besar nominal resistansi kabel distribusi akan bervariasi. Berikut persamaan untuk menentukan besarnya nilai resistansi berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000:

$$R_t = R_0 \times \frac{234,5+t}{254,5} \times \frac{l}{1000} \quad \text{untuk tembaga} \quad (3.1)$$

$$R_t = R_0 \times \frac{228+t}{248} \times \frac{l}{1000} \quad \text{untuk aluminium} \quad (3.2)$$

keterangan : R_t = resistansi kabel pada suhu t derajat Celcius (Ω)
 R_0 = resistansi kabel pada suhu 20 derajat Celcius (Ω)
 t = suhu penghantar dalam Celcius ($^{\circ}\text{C}$)
 l = panjang penghantar (m)

Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 resistansi dari kabel XLPE 4x95 mm² pada suhu 20 $^{\circ}\text{C}$ sebesar 0.191 Ω , tabel berikut menggambarkan variasi resistansi kabel distribusi akibat faktor suhu,

Tabel 3.2. Resistansi Kabel Distribusi (Tembaga)

No	Suhu (°C)	Resistansi kabel (Ω /km)
1	15	0.187
2	20	0.191
3	25	0.195
4	30	0.199
5	35	0.202

Ketika jaringan masuk ke dalam gardu distribusi, maka tegangan sistem akan diturunkan dari tegangan primer (20 kV) menjadi tegangan pelayanan (220V) sehingga dengan besar daya yang tetap maka ketika tegangan diturunkan arus pada sistem tersebut akan mengalami kenaikan sesuai dengan besarnya daya tersebut. Arus yang besar pada konduktor dapat menimbulkan susut teknis yang besar pada konduktor tersebut. Selain itu besarnya nilai resistansi dari saluran juga akan mempengaruhi besarnya susut energi yang terjadi pada jaringan. Semakin besar resistansi saluran maka semakin besar pula susut energi yang terjadi di saluran. Hal ini yang akan dianalisa untuk mencari susut teknis sesuai dengan persamaan 2.1 yang telah disebutkan sebelumnya.

3.4.3 Pelanggan dalam Jaringan Tegangan Rendah

Pelanggan listrik yang ada di Indonesia terbagi menjadi beberapa golongan, tergantung dari fungsi bangunan dan besar daya yang digunakan. Tipe-tipe pelanggan yang di Indonesia adalah residensial, bisnis, industri, sosial, dan publik. Namun untuk penelitian kali ini akan lebih dititikberatkan pada pelanggan industri di jaringan tegangan rendah, dengan kapasitas beban I1 (450 s.d 2200 VA), I1 (3500VA s.d 14kVA), dan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA). Untuk lebih jelas dalam melihat kapasitas masing-masing pelanggan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.3. Tipe Tarif Pelanggan PLN

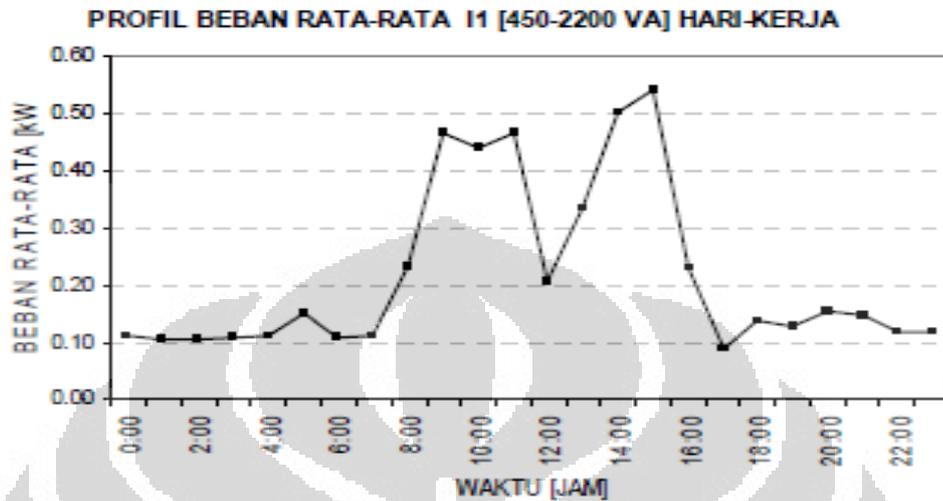
Tipe Pelanggan	Kelas Pelanggan	Daya Listrik
Residensial	R1	450 VA s.d. 2200 VA
	R2	Di atas 2200 VA s.d. 6600 VA
	R3	Di atas 6600 VA
Bisnis	B1	450 VA s.d. 2200 VA
	B2	Di atas 2200 VA s.d. 200 kVA
	B3	Di atas 200 kVA
Industri	I1	450 VA s.d. 14 kVA
	I2	Di atas 14 kVA s.d. 200 kVA
	I3	Di atas 200 kVA
Sosial	S1	220 VA
	S2	450 s.d. 200 kVA
	S3	Di atas 200 kVA
Publik	P1	450 s.d. 200 kVA
	P2	Di atas 200 kVA
	P3	Untuk penerangan jalan umum

Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007

Analisis susut teknis yang dilakukan adalah pada jaringan tegangan rendah, sehingga sampel pelanggan yang akan diambil adalah pelanggan industri dengan kapasitas beban 450 VA s.d. 200 kVA. Setiap pelanggan tersebut memiliki karakteristik penggunaan listrik yang berbeda-beda, kemudian dari kelas-kelas pelanggan ini akan dianalisis profil beban mereka sehingga bisa diketahui tingkat susut teknis akibat tren penggunaan listrik para pelanggan kelas tersebut.

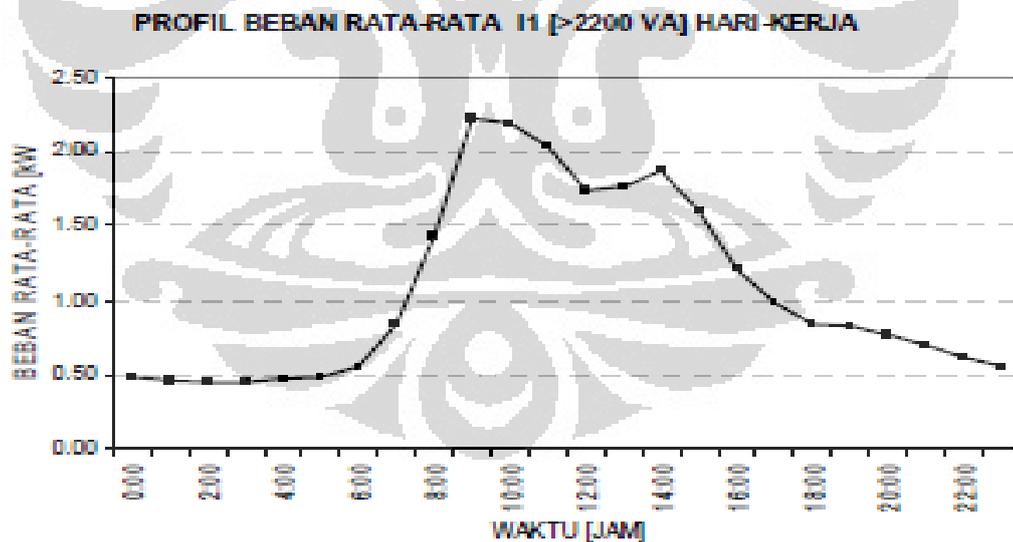
Profil beban (*load profile*) itu sendiri merupakan grafik yang menunjukkan besarnya pemakaian energi listrik yang digambarkan dalam kurun waktu tertentu, bisa dalam kurun satu tahun, satu bulan, atau bahkan dalam satu hari. Profil beban tersebut biasanya berbeda setiap kelas pelanggan dan juga setiap hari akan

berbeda. Terutama pada hari kerja dan hari libur, profil beban yang tercipta akan berbeda jauh. Berikut adalah profil beban pelanggan industri :



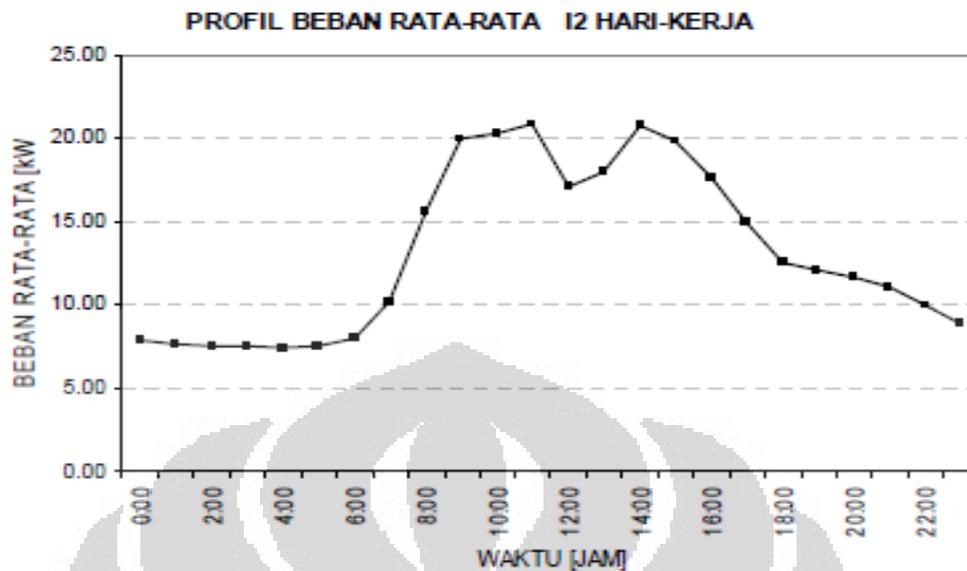
Grafik 3.1. Profil Beban Pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA)

Sumber: Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007



Grafik 3.2. Profil Beban Pelanggan I1 (di atas 2200 VA s.d. 14 kVA)

Sumber: Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007



Grafik 3.3. Profil Beban Pelanggan I2 (di atas 14kVA s.d. 200kVA)

Sumber: Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007

Dapat dilihat tren konsumsi listrik para pelanggan industri dengan kapasitas berbeda memiliki pola (*trends*) yang cukup berbeda. Terlihat bahwa untuk pelanggan industrial, hal yang umum terjadi adalah pada pagi hari (01.00 – 06.00) dan pada malam hari (18.00 – 24.00) pemakaian beban cenderung konstan dan cukup rendah. Berbeda dengan waktu-waktu tersebut, untuk jam kerja mulai pukul 08.00 pola konsumsi energi listrik cenderung meningkat dan pola konsumsinya akan menurun menjelang berakhir waktu kerja, antara pukul 16.00 – 17.00. Beban puncak dari masing-masing tipe pelanggan terjadi di waktu yang berbeda, hal ini disebabkan oleh pola pemakaian alat-alat industri dan jam kerja yang berbeda pula di masing-masing tipe pelanggan industri. Untuk tipe pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA) beban puncak terjadi pada pukul 14.00 – 15.00, tipe pelanggan I1 (di atas 2200 VA s.d. 14 kVA) beban puncak terjadi pada pukul 09.00 – 10.00, dan tipe pelanggan I2 beban puncaknya terjadi pada pukul 11.00 dan 14.00.

3.5 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari PLN APJ Cempaka Putih, yaitu data aset, data transaksi energi, dan data standar dapat diolah sehingga dapat diketahui besar susut teknis pada jaringan tegangan rendah. Pengolahan dilakukan dengan mencari parameter-parameter yang diperlukan untuk memperoleh susut teknis tersebut, berikut adalah parameter-parameter yang perlu dicari untuk analisis susut pada jaringan tegangan rendah :

- Kapasitas sistem
- Arus maksimum transformator distribusi
- Persen pembebanan pada profil pelanggan
- Panjang saluran tegangan rendah
- Impedansi saluran tegangan rendah
- Jumlah titik beban saluran tegangan rendah

3.5.1 Parameter Penghitungan Susut Energi

a. Kapasitas sistem

Pada data aset PLN area pelayanan Cempaka Putih, sistem distribusinya memiliki 200 trafo distribusi, yang diasumsikan memiliki kapasitas trafo masing-masing 630 kVA. Sehingga bisa didapatkan kapasitas sistem yang digunakan sebesar 200 x 630 kVA.

b. I_{\max} Jaringan.

Dari kapasitas sistem yang ada, maka dapat dihitung nilai I_{\max} yang dapat disuplai oleh trafo distribusi. Persamaan yang digunakan adalah

$$I_{\max} = \frac{\text{Kapasitas Sistem}}{3 \times V \text{ sistem}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Arus ini merupakan nominal maksimum dari kemampuan trafo (kapasitas sistem) dalam menyuplai arus ke beban. Besarnya arus yang disuplai pada trafo selama sehari bervariasi di tiap jamnya. Besar arus yang mengalir pada setiap jamnya dapat diketahui dengan mengetahui besarnya pembebanan trafo di setiap jamnya.

c. Persen Pembebanan Trafo

Persen pembebanan trafo didapatkan dari profil beban (*Load Profile*) yang telah dijelaskan sebelumnya. Persen pembebanan ini digunakan untuk menghitung besarnya arus pembebanan yang mengalir pada jaringan distribusi pada setiap jamnya sehingga nantinya dapat dilihat variasi nilai pembebanan terhadap susut energi yang terjadi di jaringan distribusi. Persamaan yang digunakan dalam menghitung persen pembebanan trafo adalah,

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{\text{Jumlah Pelanggan} \times \text{Nilai pada Kurva Beban (Watt)}}{\text{Kapasitas Terpasang (VA)} \times \text{Pf}} \dots (3.2)$$

d. Faktor Kepadatan Beban (I_{gw})

Faktor kepadatan beban merepresentasikan besarnya arus di setiap seksi. Arus di setiap seksi nilainya sama besar karena arus di setiap titik beban nilainya sama (beban terdistribusi merata). Untuk mendapatkan faktor pembebanan, bisa dihitung dengan mendapatkan arus pangkal pembebanan terlebih dahulu yang di dapat dari perhitungan persen pembebanan dikalikan I_{max} . Berikut persamaan yang digunakan dalam menghitung faktor kepadatan beban,

$$I_{pp} = I_{max} \times \% \text{ pembebanan} \dots (3.5)$$

$$I_{gw} = \frac{I_{pp} \text{ (Ampere)}}{n} \dots (3.6)$$

Dimana:

I_{pp} = Arus Pangkal Pembebanan

I_{gw} = Faktor Kepadatan Beban

n = jumlah titik beban (tiang)

e. Impedansi Saluran

Impedansi saluran didapatkan dengan mengkalikan panjang saluran dengan impedansi kabel distribusi. Sedangkan untuk impedansi jaringan

antar titik beban dapat ditentukan dengan mengkalikan jarak antar titik beban dengan impedansi kabel distribusi.

$$R_{saluran} = R_{kabel} \times \text{panjang saluran} \dots\dots\dots(3.7)$$

3.5.2 Formula Penghitungan Susut

Dalam menghitung susut energi pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah digunakan persamaan :

$$S_{(kWh)JTR3f} = 3 \times \sum_1^n n^2 \times I_{g_{wj}}^2 \times R_{g_{wj}} \times L_{sF} \times t \times F_{kor} \times 10^{-3} \dots\dots(3.8)$$

Dimana :

n = Jumlah Titik Beban.

R_{gw} = Resistansi Saluran. (Ω)

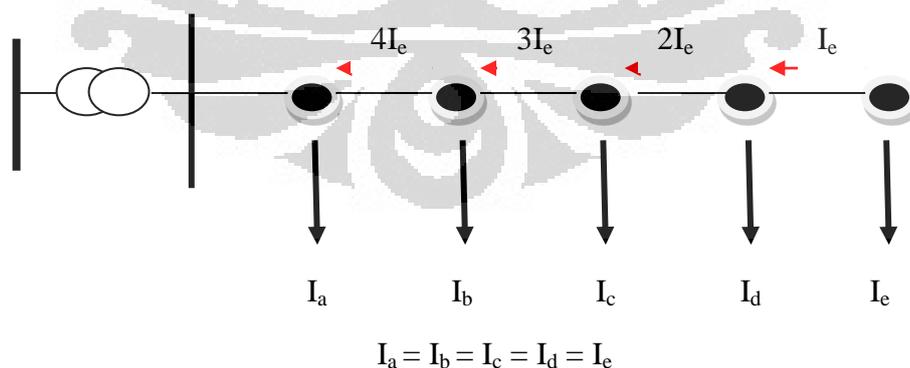
I_{pp} = Arus pembebanan (Ampere)

I_{gw} = Faktor Kepadatan Beban = I_{pp}/n (Amperer)

L_{sF} = Faktor susut bernilai 1 karena susut energi di hitung pada setiap jam.

LF = Faktor Beban (*Load Factor*)

F_{kor} = Faktor koreksi kabel penghantar (bernilai 1 pada suhu 20°C)



Gambar 3.4. Gambar Ilustrasi Jaringan

Gambar di atas mengilustrasikan persebaran arus pada setiap titik beban. Dalam perhitungan ini, beban diasumsikan merata pada setiap titik bebannya. Sehingga arus beban pada setiap titik beban (tiang) nilainya sama besar ($I_a = I_b = I_c = I_d = I_e$)

3.6 Analisis Data

Setelah didapatkan susut teknis jaringan tegangan rendah, maka dapat dibuat susut saluran tersebut dalam waktu tertentu sehingga bisa dibuat profil susut teknis pada saluran, dan dapat dibuat juga grafik efisiensi dari masing-masing jenis saluran dengan variasi pelanggan yang berbeda.

Pelanggan yang berbeda dapat menghasilkan profil susut teknis yang berbeda pula, sehingga akan dibuat simulasi dengan menggunakan berbagai macam kombinasi pelanggan dalam satu jaringan tegangan rendah, sehingga dapat dilihat kira-kira seberapa besar pengaruh pelanggan yang satu terhadap pelanggan lainnya, berikut adalah variasi yang dilakukan :

Tabel 3.4. Variasi Pembebanan Pelanggan Industri

No	I1 (450 VA – 2200 VA)	I1 (> 2200 VA)	I2 (14 KVA – 200 KVA)
1	100 %	-	-
2	-	100 %	-
3	-	-	100 %
4	50 %	50 %	-
5	50 %	-	50 %
6	-	50 %	50 %
7	70 %	30 %	-
8	70 %	-	30 %
9	-	70 %	30 %
10	30 %	70 %	
11	30 %	-	70 %
12	-	30 %	70 %
13	50 %	25 %	25 %
14	25 %	50 %	25 %
15	25 %	25 %	50 %
16	34 %	34 %	32 %

Tabel tersebut menunjukkan kombinasi yang akan dilakukan untuk melakukan analisis pada jaringan tegangan rendah, terdapat tiga jenis beban yang terpasang, yaitu pelanggan I1 dengan kapasitas daya 450 VA s.d. 2200 VA, I1 dengan kapasitas daya 3500 VA s.d. 14 kVA, dan I2 dengan daya di atas 14 kVA s.d. 200 KVA.

Pertama kali penulis akan menganalisis pengaruh besar susut teknis untuk beban 100 persen dari masing-masing jenis pelanggan, dengan tujuan untuk melihat nilai susut teknis sebenarnya dari jenis pelanggan tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan pembebanan dengan bobot 50% - 50% untuk dua buah kombinasi, setelah itu diadakan simulasi besar susut teknis dengan besar pembebanan lebih dititikberatkan pada salah satu pelanggan, ataupun terdapat kombinasi tiga pelanggan sekaligus, terakhir dibuat simulasi untuk mencari besar susut teknis untuk pelanggan dengan kombinasi merata.

Variasi pembebanan digunakan untuk mengetahui besarnya susut energi listrik yang disesuaikan dengan beban masing-masing pelanggan. Suatu jaringan dengan pembebanan yang berbeda akan memunculkan nilai susut energi yang berbeda pula. Simulasi yang dibuat memiliki berbagai macam variasi sehingga sebisa mungkin didapatkan model yang sesuai dengan kondisi nyata.

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 Pengolahan Data

Sebagai permulaan, harus dicari parameter-parameter yang diperlukan untuk menghitung susut yang terjadi pada jaringan tegangan rendah, beberapa parameter tersebut adalah :

4.1.1 Arus maksimum transformator distribusi

Parameter ini menunjukkan arus yang mampu dikeluarkan oleh transformator gardu distribusi pada saluran Cempaka Putih pada nilai maksimal, dicari dengan persamaan 3.3, sehingga nilai yang didapatkan untuk transformator dengan kapasitas 630 kVA adalah:

$$I_{max} = \frac{200 \times 630.000 \text{ VA}}{3 \times 220 \text{ Volt}}$$

$$I_{max} = 190909,09 \text{ Ampere}$$

4.1.2 Resistansi Saluran

Penghantar yang digunakan pada jaringan tegangan rendah menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 adalah menggunakan kabel dengan ukuran 3x70 mm² dan 3x95 mm². Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, resistansi dalam kabel penghantar yang digunakan pada jaringan yang dilayani gardu TP 27 memiliki nilai 0,195 Ω/km, dan jaringan ini memiliki panjang kabel 1,154 km dan jumlah tiang sebanyak 47 tiang. Dengan asumsi jarak antar tiang sama, maka dapat diketahui besar resistansi saluran antar tiang sehingga bisa didapatkan besar resistansi dalam satu jaringan tegangan rendah.

$$R_{saluran} = R_{kabel} \times \text{panjang saluran}$$

$$R_{saluran} = 0,195 \frac{\Omega}{km} \times 1,154 km$$

$$R_{saluran} = 0,22503 \Omega$$

Kemudian dapat diketahui besar resistansi saluran antar tiang :

$$R_{antar\ tiang} = \frac{R_{saluran}}{jumlah\ tiang}$$

$$R_{antar\ tiang} = \frac{0,22503\ \Omega}{47}$$

$$R_{antar\ tiang} = 0,004788\ \Omega$$

4.1.3 Persen Pembebanan

Parameter ini menunjukkan berapa besar pembebanan yang terjadi akibat pelanggan pada satu waktu tertentu. Pembebanan ini mengacu pada profil beban setiap waktu, jumlah pelanggan yang disuplai oleh PLN APJ Cempaka Putih, serta daya yang disuplai oleh PLN APJ Cempaka Putih. Berikut adalah tabel jumlah pelanggan yang disuplai oleh PLN APJ Cempaka Putih :

Tabel 4.1. Tabel Pelanggan PLN APJ Cempaka Putih

Pelanggan	Daya (Watt)	Jumlah Pelanggan	Persentase Pelanggan (%)
I1 (450VA s.d. 2200 VA)	1870	1	0,244
I1 (3500 VA s.d. 14 kVA)	670508,33	87	21,219
I2 (> 14 kVA s.d. 200 kVA)	19433266,67	322	78,547

Sumber : Laporan Bulanan Transaksi Energi PLN APJ Cempaka Putih

Sehingga contoh pembebanan dapat diambil sebagai berikut dengan menggunakan persamaan 3.4:

Untuk pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) pada pukul 09.00

$$\%_{pembebanan} = \frac{2250\ Watt \times 87}{670508,33\ Watt} \times 100\%$$

$$\%_{pembebanan} = 29,19\ \%$$

Nilai 2250 Watt berasal dari pemakaian pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) pada pukul 09.00 menurut kurva beban yang telah diberikan, sementara nilai 87 merupakan jumlah pelanggan tipe pelanggan tersebut pada satu jaringan Cempaka Putih, dan nilai 670508,33 Watt merupakan besar daya terpasang untuk pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) dalam satuan Watt di jaringan Cempaka Putih.

4.1.4 Arus Pangkal Pembebanan

Arus pembebanan merupakan parameter yang menunjukkan berapa besar arus yang dikeluarkan oleh transformator pada waktu tertentu akibat pembebanan oleh pelanggan. Diambil sampel pembebanan pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) pada jam 09.00, persamaan yang digunakan adalah persamaan 3.5.

$$I_{pp} = \%_{pembebanan} \times I_{max}$$

$$I_{pp} = 29,19 \% \times 190909,09 A$$

$$I_{pp} = 47374,335 A$$

4.1.5 Arus pada masing-masing titik beban

Arus ini merupakan arus yang mengalir pada titik beban, diperoleh dari hubungan antara arus pembebanan dengan jumlah tiang. Dapat dicari dengan menggunakan persamaan 3.8, berikut akan diambil sampel besar arus pada titik beban pada pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) pada jam 09.00.

$$I_{gw} = \frac{I_{pp}}{\text{jumlah tiang}}$$

$$I_{gw} = \frac{47374,335 A}{47}$$

$$I_{gw} = 1007,965 A$$

Sehingga arus yang masuk ke titik beban sebesar 1007,965 A.

4.1.6 Susut pada Jaringan Tegangan Rendah

Setelah didapat arus yang masuk pada titik beban, dapat dicari susut dari jaringan tegangan rendah, dengan menggunakan persamaan 2.3. Berikut adalah sampel besar susut pada jaringan tegangan rendah untuk pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) pada jam 09.00:

$$P_{3fasa} = 3 \times n_{tiang} \times I_{tiang}^2 \times R_{antar\ tiang} \times pf$$

$$P_{3fasa} = 3 \times 47 \times 1007,965^2 A^2 \times 0,004788 \Omega \times 0,85$$

$$P_{3fasa} = 583,0035 \text{ kW}$$

4.1.7 Efisiensi Jaringan Tegangan Rendah

Setelah didapat susut pada jaringan tegangan rendah, dapat dicari efisiensi pada jaringan tegangan rendah. Tahap pertama yang dilakukan ada mencari daya yang masuk pada jaringan tegangan rendah, berikut sampel untuk mencari daya yang masuk pada jaringan tegangan rendah pada pelanggan I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) pada jam 09.00:

$$P_{in} = 3 \times V_{fasa} \times I_{masuk\ JTR} \times pf$$

$$P_{in} = 3 \times 220 \text{ V} \times 47374,33 \text{ A} \times 0,85$$

$$P_{in} = 26577,0019 \text{ kW}$$

Kemudian dicari daya yang masuk pada tiang, merupakan selisih antara daya masuk jaringan tegangan rendah dengan susut pada jaringan tegangan rendah

$$P_{out} = P_{in} - P_{susut}$$

$$P_{out} = 26577,0019 \text{ kW} - 583,0035 \text{ kW}$$

$$P_{out} = 25993,998 \text{ kW}$$

Setelah itu mencari efisiensi pada jaringan tegangan rendah tersebut

$$\varepsilon = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{25993,998 \text{ kW}}{26577,0019 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 97,806 \%$$

Setelah didapatkan parameter-parameter tersebut, maka dapat dibuat grafik profil susut dan efisiensi selama satu hari sehingga bisa dibandingkan dengan grafik profil beban.

4.2 Analisis Grafik

Setelah dibuat berbagai perhitungan, maka telah diketahui profil susut dan bagaimana efisiensi dari jaringan tegangan rendah untuk pelanggan industri, baik itu untuk satu jenis pelanggan, ataupun apabila ada komposisi antara pelanggan industri tersebut. Sebagai awalan akan diperlihatkan bagaimana susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah di area Cempaka Putih, dengan komposisi pelanggan mendekati kondisi nyata, yaitu I1 (450 VA s.d. 2200 VA), pelanggan I2 (3500 VA s.d. 14 kVA), dan I2.

Tabel 4.2. Susut Teknis dan Efisiensi Kondisi Real di Area Cempaka Putih

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	92.418169	10581.54538	10489.12721	99.12660991
1	82.94594669	10024.62194	9941.675994	99.17257781
2	78.40184005	9746.16022	9667.75838	99.19556176
3	79.90231971	9838.980794	9759.078474	99.18790044
4	76.91558294	9653.339647	9576.424064	99.20322307
5	81.41702192	9931.801367	9850.384345	99.18023912
6	97.34628466	10860.0071	10762.66082	99.10362596
7	147.4594608	13366.16259	13218.70313	98.89677041
8	350.4722254	20606.16732	20255.6951	98.29918771
9	565.5172724	26175.40173	25609.88446	97.83950872
10	577.6135563	26453.86345	25876.2499	97.81652477
11	623.061734	27474.88976	26851.82803	97.73225029
12	409.6096133	22276.93765	21867.32803	98.16128402
13	466.0447156	23762.06682	23296.02211	98.03870295

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
14	618.8589687	27382.06919	26763.21022	97.7399116
15	553.5489915	25896.94001	25343.39102	97.86249267
16	430.3461	22833.86109	22403.51499	98.11531612
17	307.6623318	19306.67929	18999.01696	98.40644615
18	217.782889	16243.60037	16025.81748	98.65926959
19	198.3264324	15501.03578	15302.70935	98.72056013
20	186.6283801	15036.93291	14850.30453	98.75886671
21	177.5259442	14665.65062	14488.12467	98.78951198
22	135.4271784	12809.23915	12673.81197	98.94273831
23	105.8442619	11324.10997	11218.26571	99.06531937
Total	6661.077221	411752.0642	405090.9869	
max	623.061734	27474.88976	26851.82803	99.20322307
min	76.91558294	9653.339647	9576.424064	97.73225029

4.2.1 Analisis Profil Susut dan Efisiensi Beban Satu Jenis 100 %

Pelanggan yang mungkin terpasang adalah I1 (450 VA s.d 2200 VA), I1 (3500 VA s.d. 14 kVA), dan I2 (diatas 14 kVA s.d. 200 kVA). Berikut adalah tabel dari nilai susut, daya masuk, daya keluar, dan efisien pada rentang waktu selama satu hari.

Tabel 4.3. Susut Teknis dan Efisiensi Pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA)

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	25.86952312	5598.409091	5572.539568	99.53791296
1	21.56608638	5111.590909	5090.024823	99.57809444
2	23.66890206	5355	5331.331098	99.5580037
3	27.23684234	5744.454545	5717.217703	99.52585851
4	29.593952	5987.863636	5958.269684	99.50576777
5	44.01242118	7302.272727	7258.260306	99.39727777
6	24.97753805	5501.045455	5476.067916	99.54594925
7	26.77715705	5695.772727	5668.99557	99.52987666
8	105.2855359	11294.18182	11188.89628	99.06778961
9	441.3467791	23123.86364	22682.51686	98.0913796
10	378.7024329	21420	21041.29757	98.23201479
11	455.3940769	23488.97727	23033.5832	98.06124349
12	84.22265821	10101.47727	10017.25461	99.16623425
13	219.5241763	16308.40909	16088.88491	98.65392035
14	498.8563428	24584.31818	24085.46184	97.97083515
15	581.0128623	26531.59091	25950.57805	97.81010922
16	108.0260427	11440.22727	11332.20123	99.05573517

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
17	18.40501649	4722.136364	4703.731347	99.61023962
18	39.44295381	6912.818182	6873.375228	99.42942295
19	33.05821858	6328.636364	6295.578145	99.47764073
20	44.01242118	7302.272727	7258.260306	99.39727777
21	41.12716246	7058.863636	7017.736474	99.41736851
22	27.23684234	5744.454545	5717.217703	99.52585851
23	27.70043984	5793.136364	5765.435924	99.52184036
Total	3327.056384	258451.7727	255124.7163	
max	581.0128623	26531.59091	25950.57805	99.61023962
min	18.40501649	4722.136364	4703.731347	97.81010922

Tabel 4.4. Susut Teknis dan Efisiensi Pelanggan II (3500 VA s.d. 14 kVA)

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	28.79029465	5906.000423	5877.210128	99.51252468
1	26.53313555	5669.760406	5643.22727	99.53202369
2	24.36810539	5433.520389	5409.152283	99.5515227
3	24.36810539	5433.520389	5409.152283	99.5515227
4	28.21736779	5846.940418	5818.723051	99.51739943
5	28.79029465	5906.000423	5877.210128	99.51252468
6	34.83625653	6496.600465	6461.764208	99.46377714
7	77.43437649	9685.840693	9608.406317	99.20054047
8	232.2110005	16773.0412	16540.8302	98.61557008
9	583.0034667	26577.0019	25993.99843	97.80636105
10	557.3801044	25986.40186	25429.02175	97.85510858
11	483.9648531	24214.60173	23730.63688	98.00135117
12	340.6928308	20316.64145	19975.94862	98.32308489
13	352.6811095	20671.00148	20318.32037	98.29383637
14	394.1391338	21852.20156	21458.06243	98.1963413
15	294.8126172	18899.20135	18604.38873	98.44007897
16	171.4058982	14410.64103	14239.23513	98.81056021
17	115.1611786	11812.00085	11696.83967	99.02504935
18	77.43437649	9685.840693	9608.406317	99.20054047
19	73.70315431	9449.600676	9375.897522	99.22003948
20	64.77816296	8859.000634	8794.222471	99.26878702
21	53.25052899	8032.160575	7978.910046	99.33703356
22	41.4580243	7087.200507	7045.742483	99.41502961
23	34.83625653	6496.600465	6461.764208	99.46377714
Total	4144.250633	301501.3216	297357.0709	
max	583.0034667	26577.0019	25993.99843	99.5515227
min	24.36810539	5433.520389	5409.152283	97.80636105

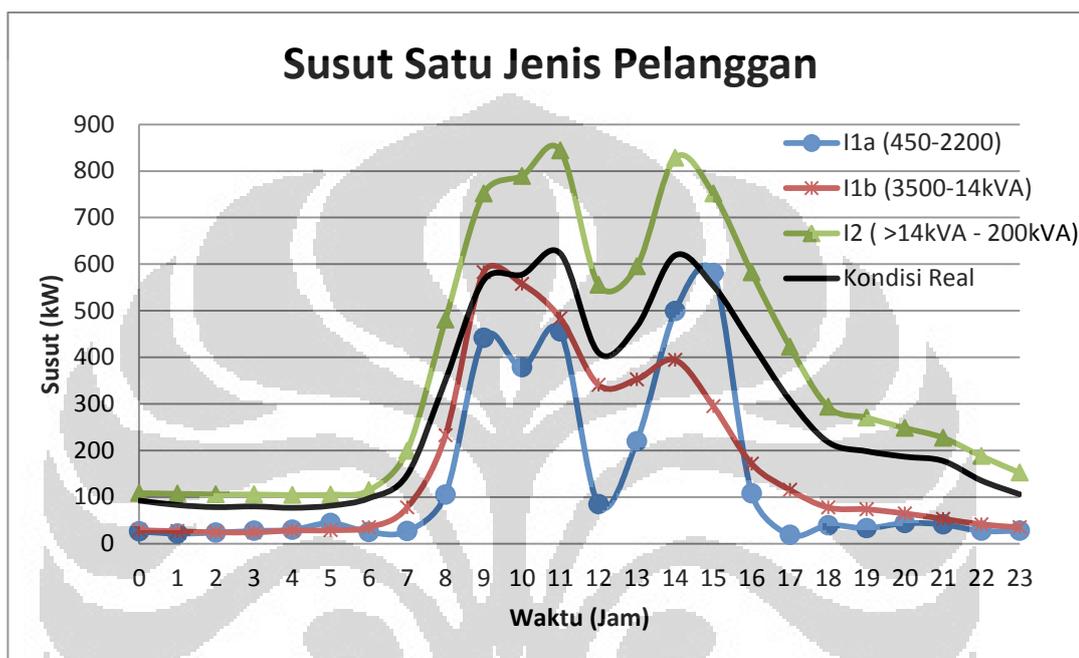
Tabel 4.5. Susut Teknis dan Efisiensi Pelanggan I2 (di atas 14 kVA s.d 200 kVA)

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	108.4734025	11463.89106	11355.41766	99.05378198
1	107.0508159	11388.47072	11281.41991	99.0600071
2	105.6376193	11313.05039	11207.41277	99.06623222
3	105.6376193	11313.05039	11207.41277	99.06623222
4	104.2338127	11237.63005	11133.39624	99.07245734
5	105.0749699	11282.88225	11177.80728	99.06872227
6	114.257649	11765.5724	11651.31475	99.02888151
7	199.237245	15536.5892	15337.35195	98.71762558
8	480.7685429	24134.50749	23653.73895	98.00796207
9	751.2008483	30168.13437	29416.93352	97.50995259
10	789.2303913	30922.33773	30133.10734	97.44770141
11	844.0492732	31978.22243	31134.17316	97.36054975
12	555.5881474	25944.59556	25389.00741	97.85855923
13	595.0261919	26849.63959	26254.6134	97.78385781
14	828.1989353	31676.54109	30848.34215	97.38545022
15	751.2008483	30168.13437	29416.93352	97.50995259
16	581.7299369	26547.95824	25966.22831	97.80875828
17	422.5504772	22626.10078	22203.5503	98.13246444
18	293.4378314	18855.08398	18561.64615	98.44372037
19	270.4323054	18100.88062	17830.44832	98.50597155
20	248.3657805	17346.67726	17098.31148	98.56822274
21	227.2382566	16592.4739	16365.23565	98.63047392
22	187.8002121	15084.06718	14896.26697	98.7549763
23	152.1181718	13575.66047	13423.54229	98.87947867
Total	8928.539284	475872.1515	466943.6122	
Max	844.0492732	31978.22243	31134.17316	99.07245734
Min	104.2338127	11237.63005	11133.39624	97.36054975

Dari tabel-tabel di atas dapat dilihat bahwa konsumsi energi harian, paling besar berada pada pelanggan I2 dengan daya di atas 14 kVA s.d. 200 kVA, dimana nilai untuk konsumsi energi yang masuk mencapai 475872.1515 kWh dengan susut di jaringan sebesar 8928.5393 kWh sehingga daya yang masuk ke tiang atau dalam hal ini diasumsikan industri adalah 466943.6122 kWh. Sementara konsumsi energi yang masuk ke jaringan tegangan rendah yang paling kecil dimiliki oleh jaringan dengan jenis pelanggan I1 dengan kapasitas 450 VA s.d. 2200 VA yang bernilai 258451.7727 kWh dengan susut 3327.056 kWh dan

konsumsi energi pada tiang adalah 255124.7163 kWh. Nilai susut pada jaringan tegangan rendah ini cukup besar melihat besarnya hambatan dalam penghantar dan besarnya arus yang mengalir pada penghantar tersebut.

Kemudian akan dipaparkan grafik susut dari jaringan tegangan rendah yang berisi satu jenis pelanggan dibandingkan dengan kondisi real Cempaka Putih.



Grafik 4.1. Profil Susut Satu Jenis Pelanggan Industri

Pada grafik di atas, warna biru menunjukkan profil susut untuk pelanggan I1 dengan daya 450 VA s.d 2200 VA, warna merah untuk menunjukkan profil susut pelanggan I1 dengan daya 3500 VA s.d. 14 kVA, dan warna hijau untuk menunjukkan susut pelanggan I2 dengan daya di atas 14 kVA s.d. 200 kVA, sementara warna hitam untuk menunjukkan kondisi real.

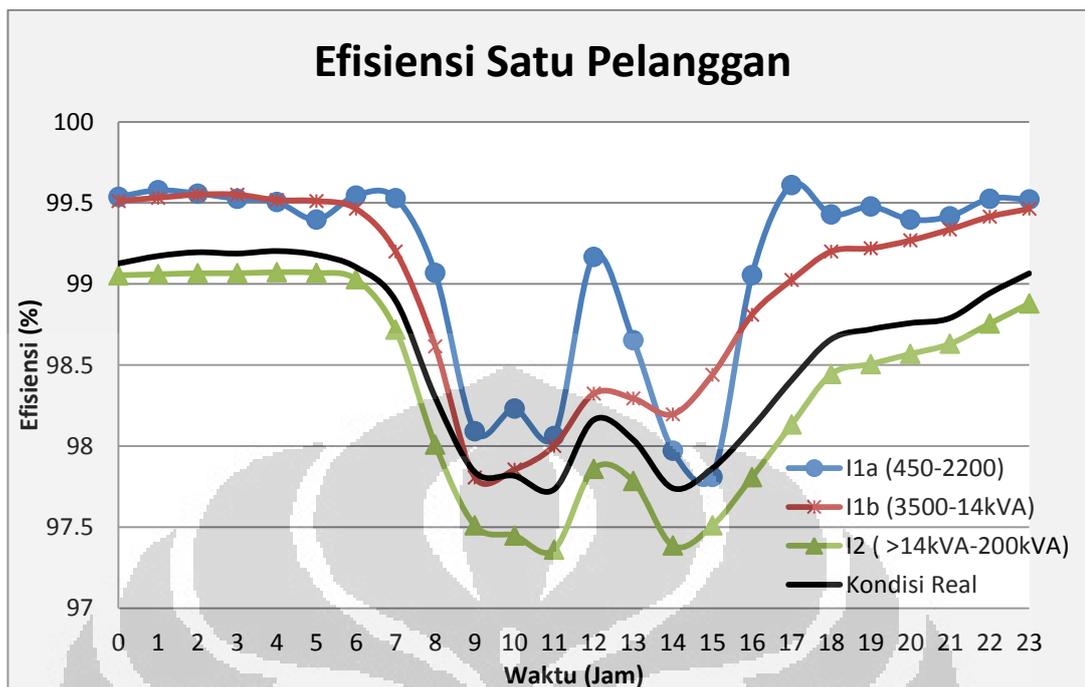
Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa untuk pelanggan I2 akan memiliki nilai susut yang lebih besar, dibandingkan dengan pelanggan I1-a (450 VA s.d 2200 VA) dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) di waktu yang sama. Kemudian hal bisa diperhatikan lagi adalah untuk pelanggan I1-b untuk daya 3500 VA s.d. 14 kVA, akan ada penurunan susut dari pukul 09.00 sampai pukul 18.00, dan hanya ada sedikit kenaikan pada pukul 13.00 – 14.00. Sementara pada pelanggan I1-a

(450 VA s.d 2200 VA) dan I2 kecenderungan tersebut tidak ada, penurunan tingkat susut hanya terjadi pada pukul 12.00. Hal ini bisa terjadi karena pelanggan industri untuk ketiga tipe pelanggan memiliki pola jam kerja yang sama dimulai dari pukul 09.00 sehingga pada waktu tersebut terjadi lonjakan kenaikan konsumsi listrik yang cukup signifikan. Begitupun yang terjadi pada pukul 12.00 dimana para pekerja industri istirahat makan siang, hal ini menyebabkan penurunan tingkat konsumsi energi listrik sejalan dengan penurunan tingkat susut pada pelanggan tersebut.

Kemudian untuk waktu beban puncak, masing-masing tipe pelanggan memiliki waktu beban puncak yang berbeda-beda yaitu untuk tipe pelanggan I1-a terjadi pada pukul 11.00 sebesar 455,3941 kW dan pukul 15.00 sebesar 581,0129 kW, tipe pelanggan I1-b terjadi pada pukul 09.00 sebesar 583,0347 kW, dan tipe pelanggan I2 terjadi pada pukul 11.00 sebesar 844,04927 kW dan pukul 14.00 sebesar 828,1989 kW. Hal ini terjadi karena pada waktu-waktu tersebut pemakaian listrik tinggi, di saat semua industri menjalankan seluruh aktifitas, mereka pun menggunakan alat-alat kelistrikan mereka, sehingga permintaan akan listrik meningkat dan menyebabkan arus yang masuk ke jaringan pun meningkat. Karena arus yang masuk ke jaringan meningkat maka susut yang terjadi pada jaringan tegangan rendah pun meningkat. Perbedaan waktu beban puncak pada masing-masing tipe pelanggan disebabkan oleh perbedaan perilaku pemakaian mesin-mesin listrik yang digunakan oleh industri tersebut dan pola kerja dari masing-masing industri. Untuk waktu di luar jam kerja industri yaitu pada pukul 01.00 – 07.00 dan 18.00 – 24.00, susut yang terjadi cenderung rendah karena pada waktu-waktu tersebut tidak banyak peralatan listrik yang digunakan.

Kemudian jika dilihat perbandingan antara susut dengan pelanggan yang dilayani, maka dapat dilihat bahwa susut terbesar terjadi pada pelanggan I2 dengan daya di atas 14 kVA s.d. 200 kVA memiliki susut energi sebesar 8928,5393 kWh, dan paling rendah terjadi pada pelanggan I1-a dengan daya 450 VA s.d. 2200 VA memiliki susut energi sebesar 3327,0564 kWh.

Setelah melihat profil susut pada jaringan tegangan rendah, akan dilihat bagaimana efisiensi pada jaringan tegangan rendah tersebut, seperti ditunjukkan pada grafik berikut ini:



Grafik 4.2. Efisiensi Jaringan Untuk Satu Jenis Pelanggan Industri

Grafik di atas menunjukkan bagaimana efisiensi suatu saluran tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi satu jenis beban saja. Warna biru menunjukkan besar efisiensi jaringan yang melayani pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA), warna merah menunjukkan jaringan dengan pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA), dan warna hijau untuk jaringan dengan pelanggan I2. Terlihat bahwa grafik ini merupakan kebalikan dari grafik susut pada jaringan, apabila susut kecil, maka efisiensi jaringan yang terjadi tinggi, dan begitu juga sebaliknya apabila susut besar, maka efisiensi jaringan akan bernilai rendah.

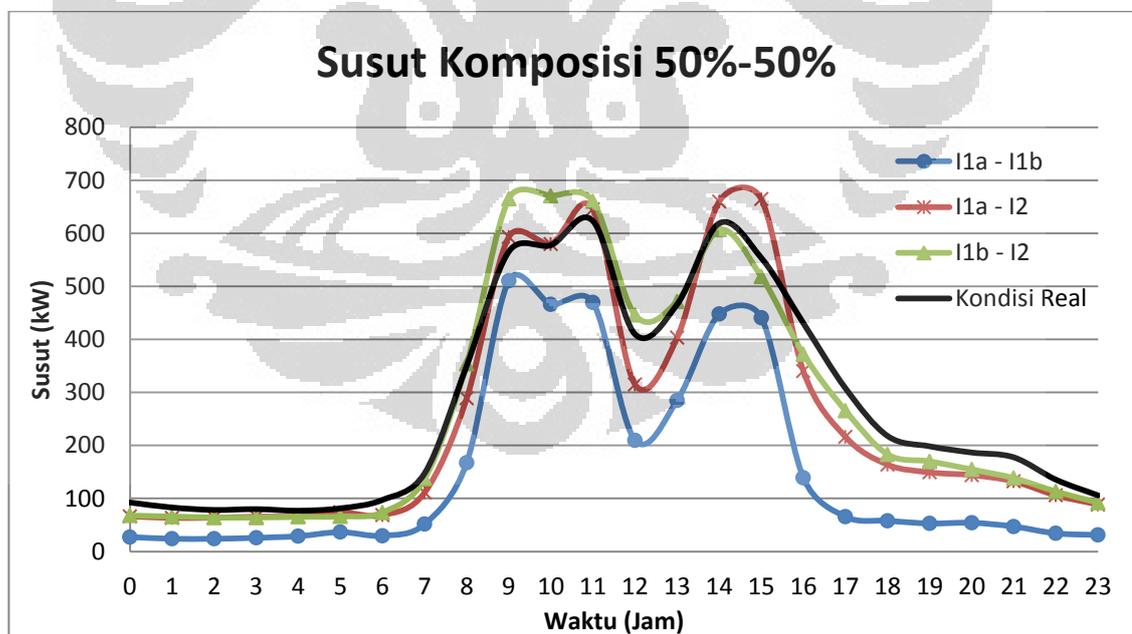
Dari grafik terlihat bahwa secara umum efisiensi jaringan tertinggi dimiliki oleh pelanggan I1-a, dengan nilai efisiensi terbesar berada pada nilai 99,61% pada jam 17.00, rata-rata pada nilai 99,11%, dan nilai efisiensi terendah dengan nilai 97,81% pada jam 15.00. Kemudian nilai efisiensi jaringan tertinggi kedua adalah untuk jaringan dengan pelanggan I1-b, dimana nilai efisiensi tertinggi adalah 99,55% pada pukul jam 02.00, rata-rata bernilai 98,96%, dan efisiensi terendah adalah 97,81% pada jam 09.00. Kemudian untuk jaringan dengan efisiensi paling rendah adalah jaringan dengan beban jenis I2, dimana nilai

efisiensi tertinggi hanya mencapai 95.64% pada jam 10.00 atau 11.00, dengan rata-rata 94.72%, dan efisiensi terendah mencapai nilai 93.4% pada jam 21.00.

4.2.2 Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Dua Jenis Pelanggan Bobot 50%-50%

Pada bagian ini akan dilihat bagaimana pengaruh perilaku susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi komposisi dua jenis pelanggan dengan bobot masing-masing 50%-50%. Komposisi yang dilakukan adalah pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I-b (3500 VA s.d. 14 kVA), pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), dan pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) yang akan dibandingkan dengan kondisi real. Untuk tabel perhitungan dari komposisi tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2-4.

Dari tabel tersebut dapat dilihat hasil pengolahan data untuk mencari susut, daya masuk, daya keluar, dan efisiensi jaringan tegangan rendah dengan komposisi dua pelanggan berbobot 50%-50%. Berikut akan ditampilkan hasil pengolahan dalam grafik untuk mempermudah pengamatan:



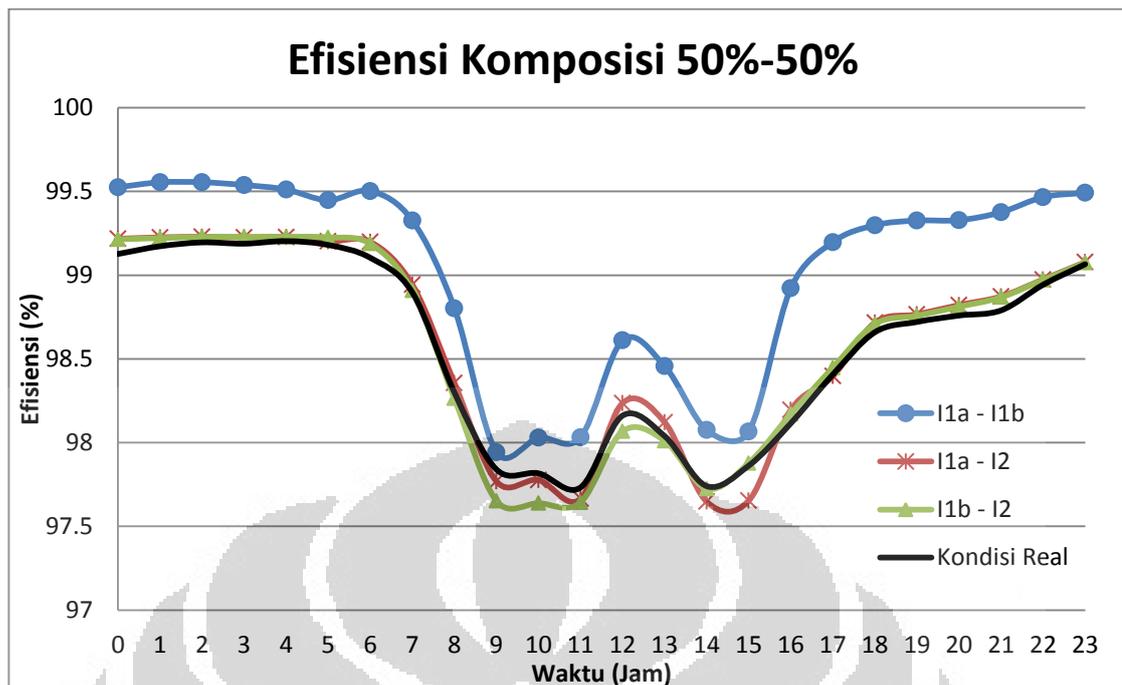
Grafik 4.3. Profil Susut dengan Komposisi Pelanggan 50%-50%

Grafik di atas menunjukkan karakteristik susut jaringan tegangan rendah dengan dua jenis pelanggan berbobot 50%-50%. Warna biru menunjukkan komposisi dari pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dan I1-b (3500 s.d. 14 kVA), warna merah menunjukkan komposisi dari pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), dan warna hijau menunjukkan komposisi dari pelanggan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), sementara warna hitam menunjukkan kondisi real Cempaka Putih.

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa yang memberi komposisi susut terbesar adalah beban I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA). Secara bentuk, kecenderungan susut yang terjadi hampir mirip dengan profil beban, yaitu cenderung rendah di luar jam kerja dan waktu istirahat, dan saat memasuki waktu beban puncak susut akan meningkat cukup tajam. Hal yang bisa diperhatikan juga adalah, pada waktu mulai bekerja, yaitu pukul 08.00-11.00, dimana pelanggan I1-a dan I2 cenderung meningkat dan pelanggan I1-b cenderung turun. Ketika dilakukan penggabungan, ternyata komposisi susut dari I1-a dengan I2 (garis warna merah) dan I1-b dengan I2 (garis warna hijau) memiliki pola yang mirip. Hal ini dikarenakan pengaruh beban pelanggan I2 yang cukup besar.

Dari grafik dapat dilihat ternyata jaringan memiliki susut terbesar apabila jaringan berisi komposisi dari I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), dengan nilai mencapai 670.8388 kW pada pukul 10.00. Sementara susut terkecil berada pada komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan nilai 23.9968 kW pada pukul 01.00, kemudian rata-rata susut terbesar dimiliki oleh jaringan dengan komposisi I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), dan rata-rata susut terkecil dimiliki oleh jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dan I1-b (3500 s.d. 14 kVA).

Berikutnya akan dipaparkan bagaimana efisiensi jaringan tegangan rendah dengan komposisi beban seperti yang telah disebutkan sebelumnya.



Grafik 4.4. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi Pelanggan 50%-50%

Grafik di atas menunjukkan efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi komposisi dua pelanggan bobot 50%-50%. Warna biru menunjukkan efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dan I1-b (3500 s.d. 14 kVA), warna merah menunjukkan efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), warna hijau menunjukkan efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA), dan warna hitam menunjukkan kondisi real di Cempaka Putih. Komposisi yang dipilih ini mencoba mencari beban yang cenderung seimbang, sehingga tidak ada perbedaan yang terlalu timpang, karena seperti telah dipaparkan sebelumnya bahwa pelanggan I2 memberikan komposisi susut yang jauh lebih besar dibandingkan pelanggan I1-a dan I1-b.

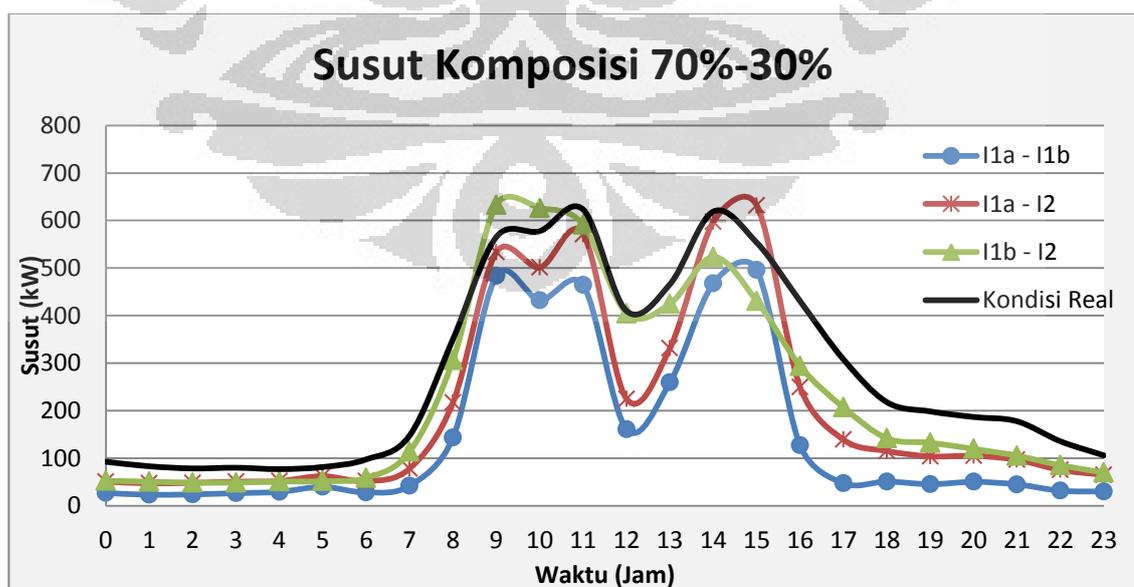
Dari grafik efisiensi terlihat bahwa jaringan yang memiliki efisiensi paling baik adalah jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 50% dengan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) bobot 50%, yang memiliki nilai efisiensi rata-rata 99.02%. Kemudian jaringan dengan efisiensi terendah adalah jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) 50% dengan I2 (di

atas 14 kVA s.d. 200 kVA) 50% yang memiliki nilai efisiensi rata-rata 98.59%. Sementara untuk waktu tertentu, efisiensi terbesar dimiliki oleh jaringan dengan komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 50% dengan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 50%, yaitu pada nilai 99.55% pada pukul 02.00, sementara efisiensi terendah dicapai oleh jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) dengan I2 (di atas 14 kVA) dengan efisiensi 97.6380% pada pukul 10.00.

4.2.3 Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Dua Jenis Pelanggan Bobot 70%-30%

Pada kali ini akan diperlihatkan bagaimana karakteristik susut dan efisiensi jaringan apabila jaringan yang dibebani oleh komposisi dua buah pelanggan, dengan bobot 70%-30%. Komposisi yang dilakukan ada tiga, yaitu komposisi pelanggan I1-a (450 s.d. 2200 VA) bobot 70% dengan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 30%, komposisi pelanggan I1-a bobot 70 % dengan I2 bobot 30%, dan komposisi lainnya adalah I1-b bobot 70% dengan I2 bobot 30%. Untuk tabel perhitungan dari komposisi tersebut dapat dilihat pada Lampiran 5-7.

Dari tabel tersebut dapat dilihat hasil pengolahan data untuk mencari susut, daya masuk, daya keluar, dan efisiensi jaringan tegangan rendah dengan komposisi dua pelanggan berbobot 70%-30%. Berikut akan ditampilkan hasil pengolahan dalam grafik untuk mempermudah pengamatan:

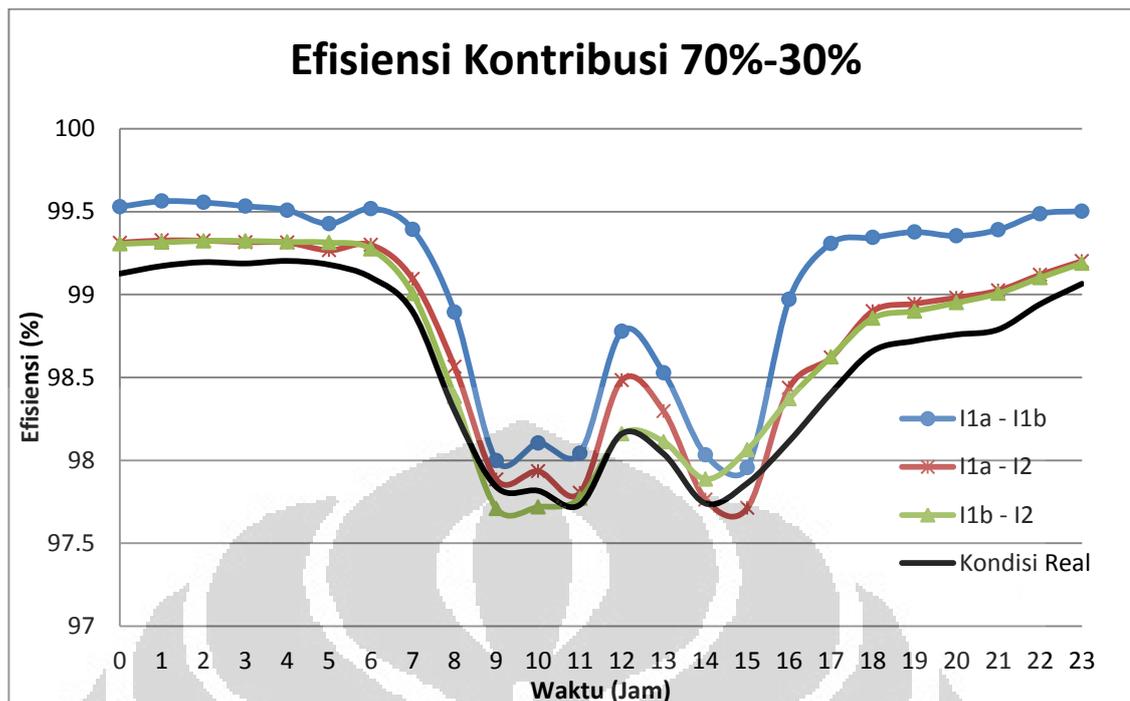


Grafik 4.5. Profil Susut dengan Komposisi Pelanggan 70%-30%

Grafik 4.5. menunjukkan bagaimana perilaku susut pada jaringan yang memiliki komposisi dua pelanggan dengan bobot masing-masing 70% - 30%. Warna biru menunjukkan komposisi dari pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 70% dan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) bobot 30%, warna merah menunjukkan komposisi dari pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 70% dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) bobot 30%, dan warna hijau menunjukkan komposisi dari pelanggan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) bobot 70% dengan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) bobot 30%, sementara warna hitam menunjukkan kondisi real Cempaka Putih.

Terlihat dari grafik bahwa besar susut untuk ketiga jaringan sangat mirip, baik dari bentuk kurva akan tetapi besar nilainya saja yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya susut yang diakibatkan oleh pelanggan I2 sangat besar pengaruhnya, sementara susut yang diakibatkan pelanggan I1-a dan I1-b cenderung kecil, sehingga tidak terlalu ada pengaruh yang signifikan. Secara umum ketiga jaringan tersebut memiliki susut yang lebih kecil daripada kondisi real di Cempaka Putih, hanya di beberapa waktu saja yang memiliki nilai susut lebih tinggi dibanding kondisi real.

Dari kurva dan data terlihat bahwa susut terkecil untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 70% dengan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 30% adalah 23.0456 kW pada pukul 02.00, untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 70% dengan I2 bobot 30% adalah 47.03 kW pada pukul 01.00, sementara untuk komposisi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 70% dengan I2 bobot 30% adalah 48.58 kW pada pukul 02.00 dan 03.00. Kemudian untuk nilai susut terbesar diperoleh pada sekitar waktu beban puncak, yaitu pada pukul 15.00 dengan 495.76 kW untuk pelanggan I1-a bobot 70% dengan I1-b bobot 30%; untuk pelanggan I1-a bobot 70% dengan I2 bobot 30% juga terjadi pada pukul 15.00 dengan nilai susut sebesar 631.71kW; dan pada pukul 09.00 untuk komposisi pelanggan I1-b bobot 70% dengan I2 bobot 30% yang memiliki nilai susut sebesar 633.10 kW.



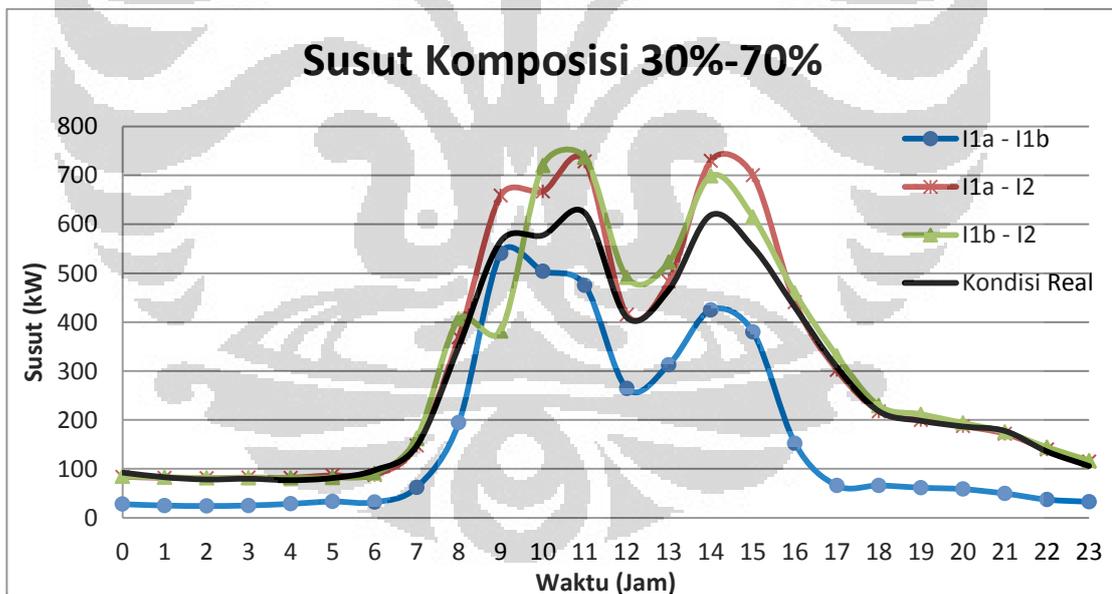
Grafik 4.6. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi Pelanggan 70%-30%

Grafik di atas menunjukkan bagaimana efisiensi jaringan apabila dibebani oleh dua jenis pelanggan dengan bobot 70%-30%. Berdasarkan grafik, nilai efisiensi tertinggi, untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 70% dengan I1-b (3500 VA s.d. 14kVA) bobot 30% memiliki nilai 99.56% pada pukul 01.00, untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 70% dengan I2 bobot 30% memiliki nilai 99.33% pada pukul 01.00, dan untuk komposisi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 70% dengan I2 bobot 30% memiliki nilai 99.32% pada pukul 02.00 dan 03.00. Lalu untuk nilai efisiensi terendah, I1-a bobot 70% dengan I1-b bobot 30% memiliki nilai 97.96% pada pukul 15.00, untuk komposisi pelanggan I1-a bobot 70% dengan I2 bobot 30% memiliki nilai 97.7124% pada pukul 15.00, dan untuk komposisi pelanggan I1-b bobot 70% dengan I2 bobot 30% memiliki nilai 97.7100% pada pukul 09.00 dan 03.00. Berdasarkan grafik dan data hasil perhitungan maka dapat dikatakan bahwa hanya ada sedikit perbedaan untuk komposisi I1-a bobot 70% dengan I2 bobot 30% dan komposisi I1-b bobot 70% dengan I2 bobot 30%, karena yang paling berpengaruh adalah susut akibat pelanggan I2.

4.2.4 Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Dua Pelanggan Bobot 30%-70%

Untuk pengolahan kali ini akan dilakukan perhitungan susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi komposisi dua pelanggan juga, namun dengan bobot 30%-70%, sehingga beban timpang. Komposisi yang diambil adalah pelanggan I1-a (450 s.d. 2200 VA) bobot 30% dengan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 70%, komposisi pelanggan I1-a bobot 30 % dengan I2 bobot 70%, dan komposisi lainnya adalah I1-b bobot 30% dengan I2 bobot 70%. Untuk tabel perhitungan dari komposisi tersebut dapat dilihat pada Lampiran 8-10.

Dari tabel tersebut dapat dilihat hasil pengolahan data untuk mencari susut, daya masuk, daya keluar, dan efisiensi jaringan tegangan rendah dengan komposisi dua pelanggan berbobot 30%-70%. Berikut akan ditampilkan hasil pengolahan dalam grafik untuk mempermudah pengamatan:



Grafik 4.7. Profil Susut dengan Komposisi Pelanggan 30%-70%

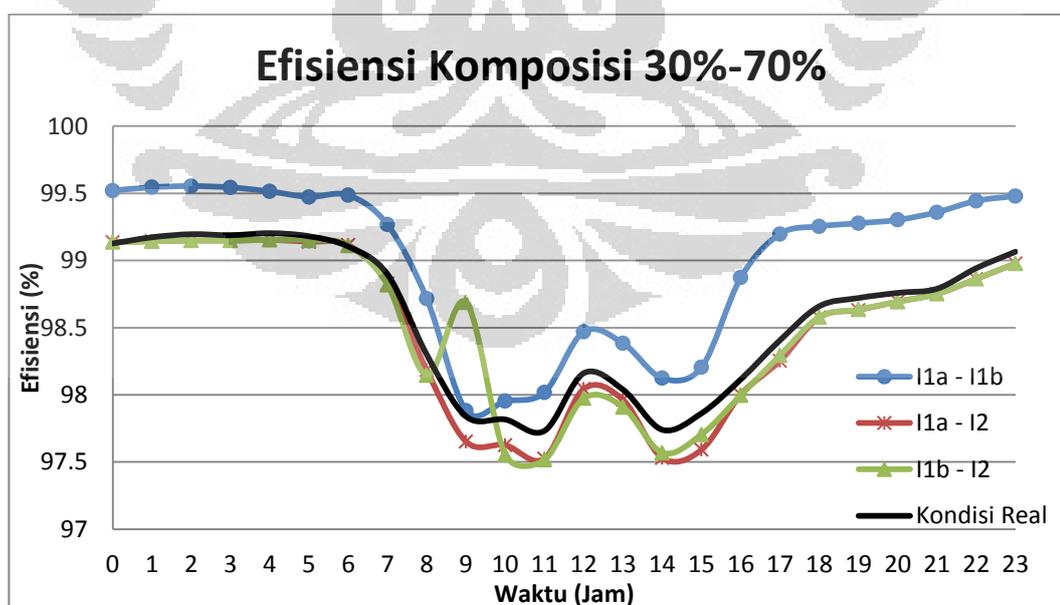
Grafik di atas. menampilkan perbandingan susut jaringan untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 30% dengan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 70% yang ditunjukkan dengan warna biru, komposisi I1-a (450 VA s.d.2200 VA) bobot 30% dengan I2 (di atas 14 kVA) bobot 70% yang ditunjukkan

dengan warna merah, dan komposisi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 30% dengan I2 (di atas 14 kVA) yang ditunjukkan dengan warna hijau. Warna hitam pada grafik menunjukkan kondisi real di Cempaka Putih.

Jika dilihat dari grafik dan tabel pada Lampiran, nilai maksimum susut teknis untuk komposisi I1-a bobot 30% dengan I1-b bobot 70% adalah 540.81 kW pada pukul 09.00; untuk komposisi I1-a bobot 30% dengan I2 bobot 70% adalah 730.0968 kW pada pukul 14.00, dan untuk jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b bobot 30% dengan I2 bobot 70% memiliki nilai susut maksimum 736.79 kW pada pukul 11.00.

Untuk nilai susut terendah komposisi pelanggan I1-a bobot 30% dengan I1-b bobot 70% ada pada nilai 24.16 kW pada pukul 02.00; untuk susut terendah komposisi pelanggan I1-a bobot 30% dengan I2 bobot 70% adalah 81.22 kW pada pukul 02.00. Kemudian untuk jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b bobot 30% dengan I2 bobot 70% memiliki nilai susut minimum yaitu 81.43 kW pada waktu yang sama dengan dua kombinasi lainnya.

Susut energi terbesar dimiliki oleh jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a bobot 30% dengan I2 bobot 70% yang memiliki nilai sebesar 7260.0125 kWh, sedangkan susut energi dengan nilai terendah dimiliki komposisi pelanggan I1-a bobot 30% dengan I1-b bobot 70% dengan nilai 3880.2447 kWh.



Grafik 4.8. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi Pelanggan 30%-70%

Grafik 4.8. menunjukkan bagaimana efisiensi kerja dari jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi kombinasi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 30% dengan pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 70% seperti yang ditunjukkan garis warna biru; kombinasi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 30% dengan pelanggan I2 bobot 70% yang ditunjukkan oleh garis warna merah; dan kombinasi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 30% dengan pelanggan I2 bobot 70% yang ditunjukkan oleh garis warna hijau. Sedangkan warna hitam menunjukkan kondisi real Cempaka Putih sebagai perbandingan.

Efisiensi memiliki hubungan berbanding terbalik dengan susut pada jaringan, sehingga apabila susut yang dihasilkan kecil maka nilai efisiensi akan tinggi, dan begitu juga sebaliknya. Dari grafik dapat dilihat bahwa efisiensi jaringan apabila berisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I1-b (3500 VA s.d. 14kV) akan memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi jaringan yang memiliki komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan pelanggan I2 dan juga komposisi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) dengan pelanggan I2. Dari nilai rata-rata efisiensi, jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) memiliki nilai efisiensi 98.99% sementara jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I2 bernilai 98.49%. Untuk nilai efisiensi tertinggi pada jam-jam tertentu, jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) memiliki nilai 99.55% pada pukul 02.00 sementara untuk jaringan dengan komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I2 memiliki nilai efisiensi terbesar 99.15% pada pukul 04.00. Kemudian untuk nilai terendah efisiensi, dicapai pada area waktu beban puncak, dengan nilai 97.88% untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) pada pukul 09.00, lalu untuk komposisi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan I2 memiliki nilai efisiensi terendah pada pukul 11.00 dengan nilai sebesar 97.53%.

Dari nilai rata-rata efisiensi, jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b (3500 s.d. 14 kVA) dengan pelanggan I2 memiliki nilai efisiensi 98.53%. Nilai tertinggi efisiensi pada jam tertentu dicapai oleh jaringan dengan komposisi pelanggan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) dengan I2 memiliki nilai 99.1529% pada pukul 04.00 sementara untuk nilai efisiensi terendah, dicapai pada waktu beban puncak, dengan nilai 97.516% pada pukul 11.00.

4.2.5 Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Tiga Pelanggan

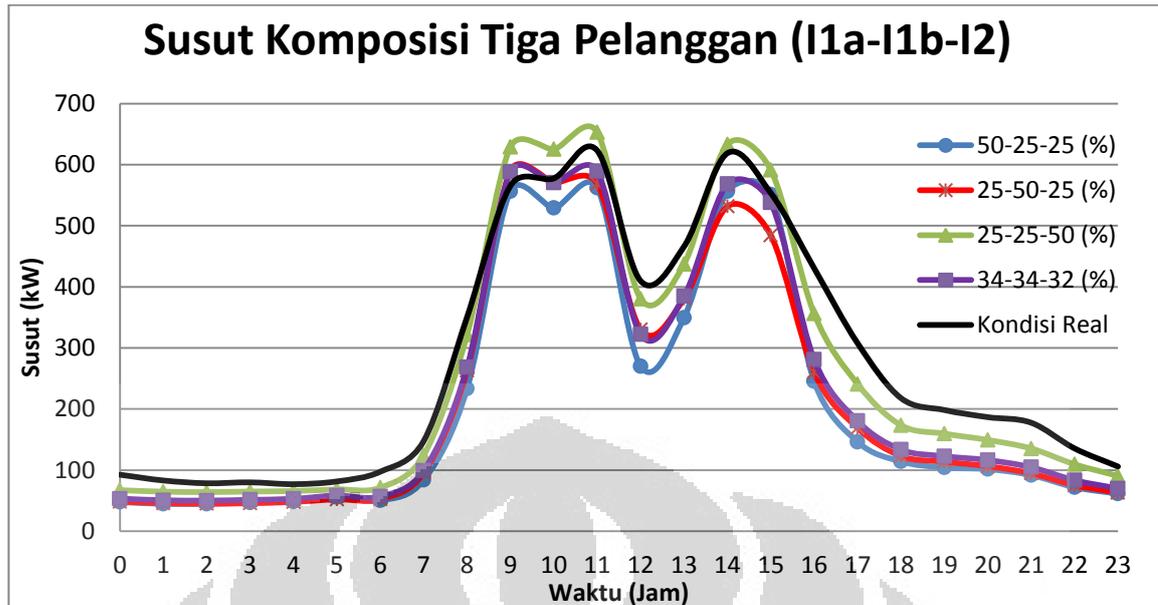
Pada subbab ini akan dilihat bagaimana perilaku susut dan efisiensi dari jaringan tegangan rendah seandainya jaringan tegangan rendah tersebut berisi semua kelas beban pelanggan industri namun dengan bobot yang bervariasi, seperti yang disebutkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.6. Variasi Pembebanan dengan Komposisi dari Tiga Tipe Pelanggan

No	I1 (450 VA – 2200 VA)	I1 (> 2200 VA)	I2 (14 KVA – 200 KVA)
1	50 %	25 %	25 %
2	25 %	50 %	25 %
3	25 %	25 %	50 %
4	34 %	34 %	32 %

Untuk hasil perhitungan yang mencakup nilai susut jaringan, daya masuk ke jaringan tegangan rendah, daya keluar jaringan tegangan rendah yang berarti daya yang masuk ke industri, dan nilai efisiensi dari jaringan tegangan rendah tersebut dapat dilihat di Lampiran 11-14.

Berikut ini adalah grafik yang menyajikan hasil dari pengolahan data mengenai profil susut dengan komposisi tiga pelanggan industri:



Grafik 4.9. Profil Susut dengan Komposisi Tiga Pelanggan Industri

Grafik di atas menunjukkan susut teknis dari jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi ketiga jenis pelanggan namun memiliki variasi bobot yang berbeda-beda. Warna biru pada grafik mewakili kombinasi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 50% – I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 25% – I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) bobot 25%. Warna merah mewakili kombinasi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 25% – I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 50% – I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) bobot 25%. Warna hijau untuk mewakili kombinasi pelanggan I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 25% – I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 25% – I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) bobot 50%. Sedangkan warna ungu mewakili kombinasi pelanggan yang lebih merata, yaitu I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) bobot 34% – I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) bobot 34% – I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) bobot 32%.

Bentuk dari karakteristik susut untuk keempat kombinasi pelanggan tersebut memiliki pola grafik yang cenderung sama dengan grafik susut teknis kondisi real di Cempaka Putih. Pola grafik yang cenderung sama dari keempat variasi pembebanan ini disebabkan karena masing-masing tipe pelanggan ada dalam kombinasi pembebanan tersebut. Dari ketiga tipe pelanggan yang memiliki pengaruh paling besar terhadap kombinasi-kombinasi ini adalah tipe pelanggan I2 (di atas 14 kVA). Hal ini bisa dilihat dari pola grafik keempat kombinasi tersebut

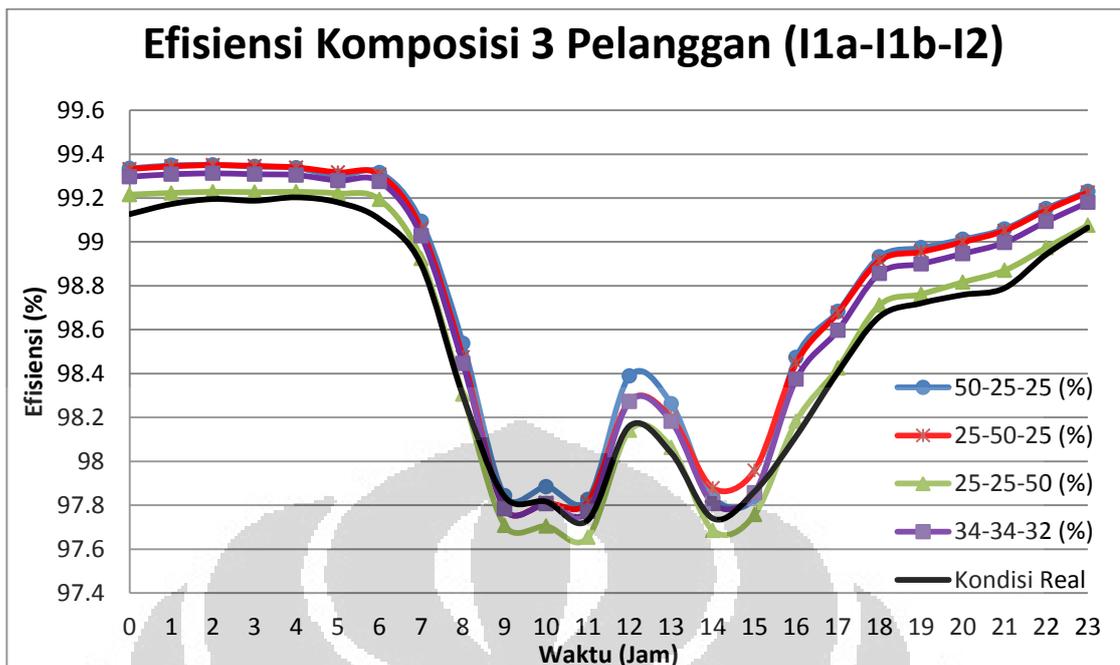
apabila dibandingkan dengan profil beban pelanggan I2. Hal ini disebabkan karena sebagian besar susut dari jaringan tegangan rendah untuk *cluster* industri di area Cempaka Putih ini berasal dari pelanggan I2.

Berdasarkan grafik dan perhitungan, susut terbesar untuk kombinasi ketiga tipe pelanggan dengan bobot masing-masing 50%-25%-25% dicapai saat pukul 11.00, saat-saat utama waktu beban puncak, dengan susut sebesar 561.9198 kW. Sementara untuk nilai susut terkecil kombinasi tersebut diperoleh saat pukul 01.00, dengan nilai susut 44.66 kW. Untuk kombinasi ketiga tipe pelanggan dengan bobot berturut-turut 25%-50%-25%, susut terbesar dicapai saat pukul 09.00 dengan nilai susut sebesar 589.78 kW dan susut terkecil terjadi saat pukul 02.00 dengan nilai susut sebesar 44.94 kW. Sedangkan untuk kombinasi yang lebih menitikberatkan ke pelanggan I2 dengan kombinasi bobot pelanggan berturut-turut 25%-25%-50% memiliki susut teknis pada waktu tertentu paling besar yaitu 652.88 kW yang terjadi pada pukul 11.00 dan susut terkecil untuk kombinasi pelanggan ini adalah 63.96 kW yang terjadi pada pukul 02.00.

Untuk kombinasi pelanggan dengan bobot yang lebih merata (diwakili grafik warna ungu), susut terbesar terjadi pada pukul 11.00 dengan nilai susut sebesar 589.16 kW. Sedangkan susut terkecil dari kombinasi ini terjadi pada pukul 02.00 dengan nilai susut sebesar 50.0672 kW.

Dari keempat kombinasi dengan 3 tipe pelanggan, yang memiliki susut energi paling besar adalah kombinasi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA), I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA), I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) dengan bobot berturut-turut 25%-25%-50%. Kombinasi pelanggan tersebut memiliki susut energi sebesar 6275.2299 kWh. Sedangkan yang memiliki susut energi terkecil adalah kombinasi 3 tipe pelanggan dengan bobot berturut-turut 50%-25%-25%, yaitu sebesar 4965.8676 kWh.

Berikut ini akan dipaparkan bagaimana efisiensi jaringan tegangan rendah dengan komposisi beban dari tiga tipe pelanggan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.



Grafik 4.10. Efisiensi Jaringan Untuk Komposisi dari Tiga Tipe Pelanggan

Grafik di atas menunjukkan bagaimana efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi tiga jenis pelanggan dengan berbagai kombinasi pelanggan. Karena pada dasarnya efisiensi merupakan kebalikan dari susut jaringan, maka pada beban puncak efisiensi jaringan akan rendah, seperti pada waktu jam kerja antara pukul 09.00 – 15.00. Sementara pada waktu dini hari efisiensi jaringan cenderung akan tinggi dikarenakan sedikit peralatan listrik yang digunakan dan waktu tersebut di luar dari jam operasi industri.

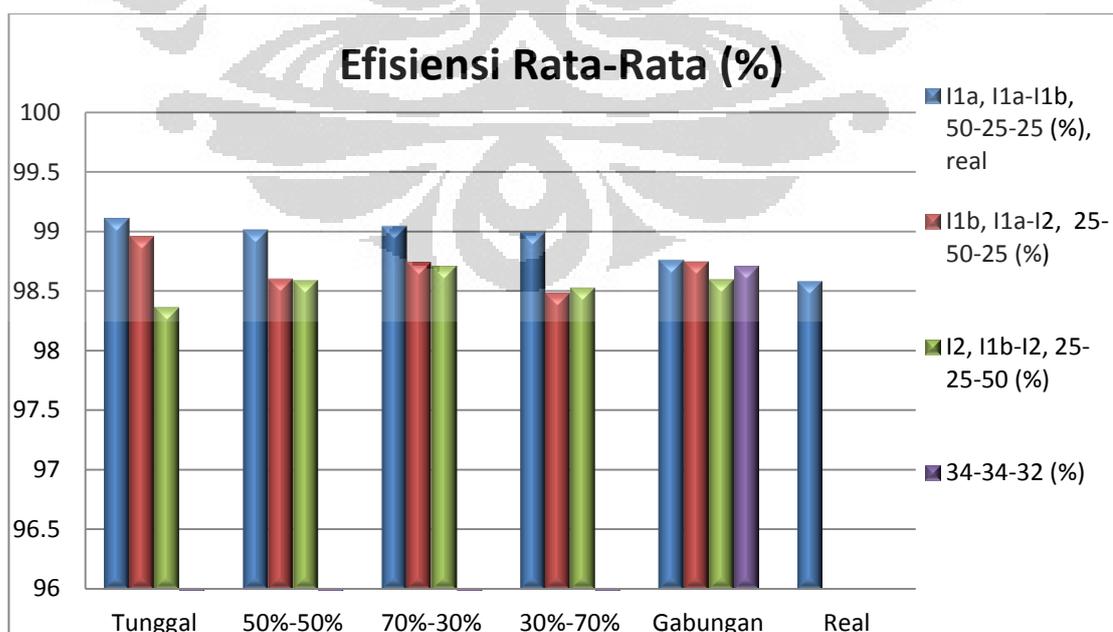
Berdasarkan grafik dan perhitungan, semua kombinasi beban pelanggan akan memiliki efisiensi tertinggi pada saat jam 02.00 dengan efisiensi sebesar 99.35% untuk kombinasi dengan bobot 50%-25%-25% dan bobot 25%-50%-25%; 99.23% untuk kombinasi dengan bobot 25%-25%-50%; dan 99.31% untuk kombinasi dengan bobot merata 34%-34%-32%. Sementara efisiensi terendah dari keempat kombinasi tersebut tercapai pada pukul 11.00 untuk kombinasi dengan bobot 25%-25%-50%, yang memiliki nilai efisiensi hanya sebesar 97.65%.

4.3 Analisis Hubungan Pelanggan Dengan Susut dan Efisiensi

Setelah dilakukan analisis pada masing-masing komposisi, akan dilihat secara keseluruhan bentuk seperti apa yang paling baik dan bisa diterapkan pada sistem. Berdasarkan pemaparan sebelumnya, bentuk-bentuk yang sudah dianalisis adalah apabila suatu jaringan berisi satu jenis pelanggan saja, berisi dua pelanggan dengan bobot 50%-50%, berisi dua pelanggan dengan bobot 70%-30% dan juga sebaliknya, dan terakhir berisi kombinasi dari tiga jenis pelanggan dengan bobot 50%-25%-25%, bobot 25%-50%-25%, bobot 25%-25%-50% dan bobot 34%-34%-32%.

Pada subbab ini akan dilakukan rekapitulasi hasil perhitungan yang menunjukkan nilai maksimal, nilai minimal, nilai rata-rata, dan total nilai dari parameter-parameter susut jaringan, daya masuk jaringan, daya masuk ke pelanggan, dan efisiensi sistem. Setelah diperlihatkan hasil rekapitulasi tersebut, akan dibandingkan sistem seperti apakah yang memiliki susut paling kecil, susut paling besar, dan efisiensinya. Tabel hasil rekapitulasi akhir dapat dilihat pada Lampiran 15.

Untuk melihat hubungan pelanggan dengan susut dan efisiensi, akan ditampilkan grafik dari efisiensi jaringan yang memiliki hubungan berbanding terbalik dengan susut dari jaringan, grafik tersebut adalah sebagai berikut:



Grafik 4.11. Efisiensi terhadap Komposisi Pelanggan

Pada Grafik 4.11. hubungan yang diperlihatkan adalah bagaimana hubungan antara efisiensi sistem dengan komposisi-komposisi pelanggan yang telah dijabarkan sebelumnya. Dari grafik 4.11., terlihat bahwa efisiensi tertinggi yang dicapai oleh jaringan merupakan komposisi pelanggan dengan kombinasi I1a (450 VA s.d. 2200 VA) dengan pelanggan I1b (3500 VA s.d. 14 kVA) dimana efisiensi mencapai nilai 99%. Sementara efisiensi terendah adalah pada jaringan yang berisi komposisi pelanggan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) saja, yaitu dengan nilai sekitar 98,36%. Namun secara umum efisiensi sistem akan lebih buruk apabila hanya terdapat satu jenis pelanggan pada jaringan, dapat dilihat pada bagian tunggal, efisiensi jaringan secara rata-rata akan lebih rendah dibandingkan dengan jaringan yang memiliki komposisi dari kombinasi tipe pelanggan lainnya.

Melihat dari grafik susut dan efisiensi yang telah dipaparkan sebelumnya, terlihat bahwa jaringan yang hanya memiliki satu jenis pelanggan saja akan memiliki susut yang cenderung besar, sehingga membuat efisiensi jaringan tersebut rendah, sehingga desain jaringan distribusi yang sudah dibuat pun menjadi kurang baik karena memiliki efisiensi yang rendah, terlepas dari tingginya arus permintaan pada titik beban. Arus permintaan pelanggan bisa menjadi besar terutama pada beban puncak, sementara semakin banyak pelanggan, maka arus permintaan yang masuk ke jaringan pun akan lebih besar.

Dengan menggunakan asumsi kapasitas jaringan yang tetap, semakin besar kapasitas pelanggan, maka semakin sedikit pelanggan yang bisa disuplai oleh jaringan dengan kapasitas tertentu, sehingga apabila arus permintaan pelanggan meningkat pada waktu beban puncak, lonjakan arus yang masuk ke jaringan tidak akan terlalu besar. Kemudian jika melihat pada grafik susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah tersebut dapat dilihat bahwa ternyata pelanggan industri berdaya besar memiliki susut yang lebih tinggi, dan sebaliknya pelanggan industri berdaya rendah memiliki susut jaringan yang kecil.

Berdasarkan grafik juga dapat dilihat bahwa pemilihan jaringan yang paling baik adalah dengan menggunakan komposisi tiga pelanggan I1a (450 VA s.d. 2200 VA) – I1b (3500 VA s.d. 14 kVA) – I2 (di atas 14 kVA) dengan

kombinasi bobot 50%-25%-25%. Hal ini ditinjau dari segi susut teknis dan efisiensi komposisi tersebut memiliki nilai susut yang rendah dan efisiensi yang tinggi. Pada tabel rekapitulasi yang terdapat pada lampiran 15 juga dapat diketahui bahwa daya yang masuk ke sistem untuk komposisi tiga pelanggan bernilai besar, sehingga bisa menyuplai banyak pelanggan.

Pemilihan komposisi tiga pelanggan lebih menguntungkan karena bisa lebih banyak variasi pelanggan yang disuplai. Hal yang cukup perlu mendapat perhatian adalah terdapat dua tipe pelanggan I1, yaitu I1 berdaya 450 VA s.d. 2200 VA dan I1 berdaya 3500 VA s.d. 14 kVA. Menurut tabel dan perhitungan I1 berdaya 450 VA s.d. 2200 VA memiliki susut dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan I1 berdaya 3500 VA s.d. 14 kVA apabila digabungkan dengan pelanggan I2.

Salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk menekan susut dan meningkatkan efisiensi jaringan tegangan rendah adalah dengan adanya program untuk monitoring penggunaan mesin-mesin listrik pada industri. Dengan adanya monitoring ini diharapkan dapat mengetahui perilaku penggunaan mesin-mesin listrik dari setiap jenis industri. Apabila telah diketahui perilaku penggunaan mesin listrik tersebut, bisa dibuat kebijakan tarif listrik pada waktu-waktu tertentu. Sehingga para pelaku industri bisa mengatur ulang jadwal pengoperasian industri mereka yang diharapkan dapat menggeser konsumsi energi listrik pada waktu beban puncak.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semua tarif industrial akan memiliki susut terbesar pada waktu beban puncak, yaitu pukul 11.00 dan 14.00
2. Semua pelanggan industri memiliki efisiensi terbesar diluar jam kerja, yaitu antara pukul 01.00-07.00 dengan nilai efisiensi **97.81%** untuk kedua jenis pelanggan I1, sementara untuk pelanggan I2 dengan nilai **97.36%**.
3. Komposisi pembebanan pada jaringan tegangan rendah dengan satu jenis pelanggan saja memiliki susut energi paling besar dengan nilai susut **8928.54 kWh** untuk jenis pelanggan I2. Sedangkan untuk susut energi paling kecil adalah komposisi hanya pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA) dengan nilai susut **3327.06 kWh**.
4. Komposisi pembebanan pada jaringan yang paling efisien adalah dengan menggunakan tiga jenis pelanggan dalam satu jaringan tegangan rendah, dengan kombinasi pelanggan I1 (450 VA s.d. 2200 VA) 50%, I1 (3500 VA s.d. 14 kVA) 25%, dan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) 25% dengan nilai susut energi **4965.87 kWh** dan nilai efisiensi rata-rata **98.76%**
5. Salah satu solusi yang bisa ditawarkan adalah dengan melakukan monitoring penggunaan mesin-mesin listrik pada setiap jenis industri untuk pengaturan waktu penggunaannya, sehingga dapat mengurangi beban puncak di satu waktu.

DAFTAR ACUAN

- [1] Rencana Strategis Kementerian Perindustrian Tahun 2010-2014, Kementerian Perindustrian, 2010
- [2] Jerry C. Whittaker, AC Power System Handbook, California 2007
- [3] Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Oxford & IBH Publishing Company, New Delhi 1950
- [4] Chapman, Stephen J., Electric Machinery and Power System Fundamentals International Edition, McGraw Hill, Singapore, 2002
- [5] Susanto, Daman. "Sistem Distribusi Tenaga Listrik". Jakarta, Materi 9 dan Materi 12.
- [6] Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. "Peralatan Energi Listrik". <http://www.energyefficiencyasia.org>
- [7] Standard Nasional Indonesia (SNI 04-0225-2000) Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)
- [8] Williams D., Stevenson Jr. (1996). Analisis Sistem Tenaga Listrik
- [9] Schultz, K.R, "Distribution Primary Feeder I²R susut", IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS 97 no 2, Maret/April, 1978
- [10] Suhariyanto. Profil Beban Untuk Kelas Pelanggan Industri, Komersial, Residensial, dan Publik Jawa-Bali. PLN Litbang, 2007.

Lampiran 1: Tabel Jaringan Distribusi Gardu TP 27

PENYULANG: PUTIH

NO	GARDU	TIANG		
		NOMOR	KOORDINAT GPS	JARAK [M]
1	2	3	4	5
1	TP 27.	TP 27	S6 10.538 E106 52.503	36
2	TP 27.	TP27-1	S6 10.528 E106 52.501	26
3	TP 27.	TP27-10	S6 10.501 E106 52.434	21
4	TP 27.	TP27-11	S6 10.534 E106 52.430	24
5	TP 27.	TP27-12	S6 10.533 E106 52.412	22
6	TP 27.	TP27-13	S6 10.530 E106 52.406	21
7	TP 27.	TP27-14	S6 10.541 E106 52.401	24
8	TP 27.	TP27-15	S6 10.560 E106 52.399	21
9	TP 27.	TP27-16	S6 10.582 E106 52.394	21
10	TP 27.	TP27-17	S6 10.582 E106 52.375	28
11	TP 27.	TP27-18	S6 10.581 E106 52.349	27
12	TP 27.	TP27-19	S6 10.577 E106 52.333	27
13	TP 27.	TP27-2	S6 10.540 E106 52.494	25
14	TP 27.	TP27-20	S6 10.541 E106 52.389	28
15	TP 27.	TP27-21	S6 10.528 E106 52.391	24
16	TP 27.	TP27-22	S6 10.475 E106 52.414	25
17	TP 27.	TP27-23	S6 10.488 E106 52.411	25
18	TP 27.	TP27-24	S6 10.511 E106 52.406	23
19	TP 27.	TP27-25	S6 10.512 E106 52.471	21
20	TP 27.	TP27-26	S6 10.525 E106 52.467	21
21	TP 27.	TP27-27	S6 10.559 E106 52.489	22
22	TP 27.	TP27-28	S6 10.578 E106 52.488	23
23	TP 27.	TP27-29	S6 10.589 E106 52.491	21
24	TP 27.	TP27-3	S6 10.543 E106 52.486	22
25	TP 27.	TP27-30	S6 10.604 E106 52.492	25
26	TP 27.	TP27-31	S6 10.601 E106 52.478	33
27	TP 27.	TP27-32	S6 10.598 E106 52.471	49
28	TP 27.	TP27-33	S6 10.596 E106 52.450	39
29	TP 27.	TP27-34	S6 10.579 E106 52.450	29
30	TP 27.	TP27-35	S6 10.570 E106 52.450	26
31	TP 27.	TP27-36	S6 10.553 E106 52.450	21
32	TP 27.	TP27-37	S6 10.592 E106 52.435	22
33	TP 27.	TP27-38	S6 10.591 E106 52.424	25
34	TP 27.	TP27-39	S6 10.574 E106 52.425	25
35	TP 27.	TP27-4	S6 10.543 E106 52.477	20

Lampiran 1: Tabel Jaringan Distribusi Gardu TP 27 (Lanjutan)

NO	GARDU	TIANG		
		NOMOR	KOORDINAT GPS	JARAK [M]
1	2	3	4	5
36	TP 27.	TP27-40	S6 10.551 E106 52.429	25
37	TP 27.	TP27-41	S6 10.589 E106 52.409	27
38	TP 27.	TP27-42	S6 10.605 E106 52.421	29
39	TP 27.	TP27-43	S6 10.620 E106 52.418	30
40	TP 27.	TP27-44	S6 10.636 E106 52.409	18
41	TP 27.	TP27-45	S6 10.648 E106 52.413	20
42	TP 27.	TP27-46	S6 10.638 E106 52.401	21
43	TP 27.	TP27-5	S6 10.542 E106 52.467	16
44	TP 27.	TP27-6	S6 10.541 E106 52.462	17
45	TP 27.	TP27-7	S6 10.537 E106 52.446	19
46	TP 27.	TP27-8	S6 10.519 E106 52.449	20
47	TP 27.	TP27-9	S6 10.500 E106 52.453	20
				1154

Sumber: Data Aset PLN APJ Cempaka Putih

Lampiran 2: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) 50 % dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 50%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	27.29883685	5748.932509	5721.633672	99.52514946
1	23.99677002	5384.737684	5360.740914	99.55435582
2	24.01106539	5393.424871	5369.413806	99.55480857
3	25.83299234	5592.295277	5566.462285	99.53806101
4	28.92030441	5918.901211	5889.980906	99.51139066
5	36.56329543	6618.990536	6582.42724	99.44760013
6	29.8020173	5988.231949	5958.429932	99.5023236
7	51.56686018	7648.359179	7596.792318	99.32577879
8	167.3979973	13975.32577	13807.92777	98.80218894
9	510.6681369	24813.69726	24303.02912	97.94199094
10	466.1404424	23654.62219	23188.48174	98.02938961
11	469.3755205	23844.07009	23374.69457	98.03147903
12	209.7293384	15100.3874	14890.65807	98.61109962
13	284.6860798	18443.29473	18158.60865	98.45642504
14	447.6117511	23247.32494	22799.71319	98.07456663
15	440.9574232	22796.59176	22355.63434	98.06568707
16	139.0417167	12893.83401	12754.79229	98.9216418
17	65.75377667	8191.644514	8125.890737	99.19730676
18	58.03450108	8269.829198	8211.794697	99.29823821
19	52.94829351	7855.916772	7802.968478	99.32600745
20	54.17437993	8064.075745	8009.901365	99.328201
21	47.05987374	7535.157883	7488.098009	99.37546267
22	34.19614415	6401.542995	6367.346851	99.46581404
23	31.19243524	6137.384754	6106.192318	99.49176341
Total	3726.959953	279518.5732	275791.6133	
max	510.6681369	24813.69726	24303.02912	99.55480857
min	23.99677002	5384.737684	5360.740914	97.94199094

Lampiran 3: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 VA) 50 % dan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) 50%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	66.29269813	8468.751331	8402.458633	99.21720812
1	63.39903912	8183.255499	8119.85646	99.22525896
2	63.78125305	8270.641679	8206.860426	99.2288234
3	65.60318	8469.512085	8403.908905	99.22541961
4	66.19762933	8556.898265	8490.700636	99.22638289
5	73.89409394	9250.230581	9176.336487	99.20116484
6	68.66780512	8566.665025	8497.99722	99.19843014
7	111.1725192	10511.49143	10400.31891	98.94237159
8	289.0325393	17577.74545	17288.71291	98.35569049
9	592.9774938	26571.05995	25978.08246	97.76833331
10	579.5990934	26070.08016	25490.48107	97.7767652
11	645.5870453	27643.28873	26997.70169	97.66457945
12	314.8908763	17854.4926	17539.60173	98.23634934
13	403.2804818	21466.88359	21063.60311	98.1213832
14	660.0239944	28054.98045	27394.95646	97.647391
15	664.2963448	28311.17601	27646.87966	97.65358972
16	339.8385867	18833.37222	18493.53363	98.19555105
17	216.178327	13483.65086	13267.47254	98.39673743
18	163.7383194	12756.9057	12593.16738	98.71647308
19	149.2200057	12089.52185	11940.30185	98.76570796
20	144.0151289	12217.61963	12073.6045	98.82125051
21	132.2028043	11724.24738	11592.04458	98.87239837
22	105.8104063	10314.90328	10209.09288	98.97419876
23	88.58571292	9601.605605	9513.019892	99.07738646
Total	6068.285378	364848.9794	358780.694	
max	664.2963448	28311.17601	27646.87966	99.2288234
min	63.39903912	8183.255499	8119.85646	97.647391

Lampiran 4: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 50 % dan I2 (di atas 14 kVA s.d. 200 kVA) 50%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	67.78415594	8625.819245	8558.035089	99.21417138
1	65.93540465	8468.278221	8402.342816	99.22138358
2	64.13829305	8310.737197	8246.598904	99.22824785
3	64.13829305	8310.737197	8246.598904	99.22824785
4	65.41690466	8484.937473	8419.520568	99.22902314
5	66.12109316	8537.240467	8471.119374	99.22549806
6	73.70204435	9075.033541	9001.331497	99.18785926
7	137.0400355	12548.97294	12411.93291	98.90795816
8	353.8455426	20375.46088	20021.61533	98.26337404
9	665.3128236	28334.3646	27669.05177	97.65192256
10	670.8387554	28401.85984	27731.02108	97.63804638
11	660.1763778	28013.82037	27353.64399	97.64339041
12	445.8543687	23070.74665	22624.89228	98.06744716
13	471.2755115	23694.59034	23223.31483	98.01104174
14	606.5513771	26659.85707	26053.3057	97.72485135
15	518.1515388	24413.78559	23895.63405	97.87762722
16	372.2027682	20350.17924	19977.97647	98.17100988
17	265.585729	17104.00719	16838.42147	98.44723096
18	183.1381948	14172.9172	13989.779	98.70782992
19	169.9748665	13683.20576	13513.23089	98.75778476
20	154.618912	13012.54452	12857.9256	98.81177035
21	138.3934595	12221.25008	12082.85662	98.86759981
22	113.0722864	11000.5608	10887.48851	98.97212253
23	92.22953421	9960.821316	9868.591782	99.07407701
Total	6485.498271	386831.7277	380346.2294	
max	670.8387554	28401.85984	27731.02108	99.22902314
min	64.13829305	8310.737197	8246.598904	97.63804638

Lampiran 5: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 70 % dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 30%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	26.73954017	5690.032041	5663.292501	99.53006345
1	23.04563294	5277.854163	5254.80853	99.56335222
2	23.87717539	5378.389052	5354.511877	99.5560534
3	26.38232495	5651.83586	5625.453536	99.53320787
4	29.18390564	5945.886508	5916.702602	99.50917486
5	39.47817073	6886.361828	6846.883657	99.42671948
6	27.9141776	5797.593755	5769.679578	99.51852132
7	41.86654156	6884.303611	6842.437069	99.3918551
8	143.0931211	12926.18249	12783.08936	98.89299783
9	483.5423882	24152.45801	23668.91563	97.99795786
10	431.9255691	22780.20481	22348.27924	98.10394343
11	463.9045208	23705.12073	23241.21621	98.04301979
12	160.6180288	13144.29214	12983.67411	98.77803972
13	259.1879436	17607.9047	17348.71675	98.52800235
14	467.6639827	23770.49621	23302.83223	98.03258637
15	495.7617255	24258.11317	23762.35144	97.9563055
16	126.9051486	12325.03137	12198.12622	98.97034624
17	47.22600095	6834.01089	6786.784889	99.30895631
18	50.7595478	7738.824887	7688.065339	99.34409231
19	45.16522071	7258.285308	7213.120087	99.37774255
20	50.19796129	7765.978912	7715.780951	99.35361708
21	44.73837802	7348.781873	7304.043495	99.39121369
22	31.47293909	6144.421428	6112.948489	99.48778027
23	29.82600226	6002.678862	5972.85286	99.50312181
Total	3570.475947	271275.0426	267704.5666	
max	495.7617255	24258.11317	23762.35144	99.56335222
min	23.04563294	5277.854163	5254.80853	97.9563055

Lampiran 6: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 70 % dan I2 (di atas 14 kVA) 30%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	50.474934	7345.573933	7295.098999	99.31285241
1	47.02962283	6981.29979	6934.270167	99.32634861
2	48.0851157	7129.738413	7081.653298	99.32556971
3	50.59026526	7403.185222	7352.594957	99.31664191
4	51.827102	7551.623845	7499.796743	99.31369593
5	62.20126547	8487.986203	8425.784938	99.26718465
6	51.57161366	7367.074758	7315.503145	99.29997163
7	78.14824707	8627.079761	8548.931514	99.0941518
8	217.131538	15118.95968	14901.82814	98.56384604
9	533.6437359	25222.15705	24688.51331	97.88422642
10	500.9873567	24250.48358	23749.49622	97.93411395
11	571.1637098	26017.6886	25446.52489	97.80471002
12	224.6293997	14820.704	14596.0746	98.48435405
13	331.3758406	19448.35009	19116.97425	98.29612364
14	596.9583916	26696.89522	26099.93683	97.76394076
15	631.707156	27614.81662	26983.10946	97.712434
16	249.1293303	15940.40246	15691.27313	98.4371202
17	138.7887707	10055.23215	9916.443375	98.61973579
18	115.1010024	10470.08885	10354.98784	98.90066833
19	103.7653934	9835.262312	9731.496919	98.94496567
20	104.8836346	10294.22301	10189.33938	98.98114084
21	96.56450966	9898.662439	9802.097929	99.02446911
22	75.06422907	8526.466821	8451.402592	99.11963266
23	64.76104084	8111.335032	8046.573991	99.20159825
Total	4995.583205	323215.2898	318219.7066	
max	631.707156	27614.81662	26983.10946	99.32634861
min	47.02962283	6981.29979	6934.270167	97.712434

Lampiran 7: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 70 % dan I2 (di atas 14 kVA) 30%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	52.52568848	7561.542314	7509.016626	99.30535747
1	50.51712544	7373.206032	7322.688907	99.31485537
2	48.5760457	7184.86975	7136.293704	99.32391195
3	48.5760457	7184.86975	7136.293704	99.32391195
4	50.86056415	7452.677756	7401.817192	99.31755316
5	51.51338939	7507.624798	7456.111408	99.31385237
6	58.49369259	8066.081468	8007.587775	99.27481897
7	113.716082	11428.61684	11314.90076	99.00498824
8	306.2494174	18965.81839	18659.56898	98.38525598
9	633.1048144	27646.70093	27013.59612	97.71001677
10	626.441892	27456.68063	26830.23874	97.71843545
11	591.224042	26527.1696	25935.94556	97.77125094
12	404.7042017	21993.05331	21588.34911	98.15985441
13	424.8690064	22511.44687	22086.57787	98.11265349
14	523.4335427	24778.60057	24255.16703	97.88755809
15	430.7580478	22255.9048	21825.14676	98.06452242
16	293.63008	18026.01212	17732.38204	98.37107576
17	206.7239484	15033.2221	14826.49815	98.62488596
18	141.7758311	12417.10465	12275.32882	98.8582215
19	132.303327	12026.57768	11894.27435	98.89990876
20	119.4638363	11387.24474	11267.7809	98.95089779
21	105.0766606	10582.04114	10476.96448	99.00702842
22	85.04931427	9469.2459	9384.196586	99.10183646
23	69.77129511	8605.256635	8535.48534	99.18920146
Total	5569.357891	353441.5688	347872.2109	
max	633.1048144	27646.70093	27013.59612	99.32391195
min	48.5760457	7184.86975	7136.293704	97.71001677

Lampiran 8: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 30 % dan I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 70%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	27.9202776	5814.377473	5786.457195	99.51980624
1	25.05358899	5503.497151	5478.443562	99.54476966
2	24.15983206	5410.131337	5385.971505	99.55343354
3	25.22262278	5526.139074	5500.916451	99.54357604
4	28.62741415	5888.917547	5860.290133	99.51387647
5	33.32454511	6321.911322	6288.586777	99.47287231
6	31.89961698	6200.052164	6168.152547	99.48549438
7	62.34499198	8497.30981	8434.964818	99.26629729
8	194.4034153	15141.04053	14946.63712	98.71604983
9	540.8078576	25548.40752	25007.59967	97.88320326
10	504.1569683	24626.19705	24122.04008	97.95276158
11	475.4544091	23998.45828	23523.00387	98.01881269
12	264.2974602	17273.82659	17009.52913	98.46995419
13	313.0173422	19371.50587	19058.48853	98.38413521
14	425.3314939	22666.02353	22240.69204	98.12348428
15	380.0637541	21172.67909	20792.61534	98.2049331
16	152.5267923	13525.83693	13373.31014	98.8723301
17	65.75377667	8191.644514	8125.890737	99.19730676
18	66.1177825	8859.833988	8793.716205	99.25373565
19	61.59615217	8519.951732	8458.35558	99.27703637
20	58.59262286	8395.294449	8336.701826	99.30207781
21	49.63931343	7742.242338	7692.603024	99.35885095
22	37.22192754	6687.233625	6650.011697	99.44338826
23	32.71069411	6287.057967	6254.347272	99.47971381
Total	3880.244652	287169.5699	283289.3252	
max	540.8078576	25548.40752	25007.59967	99.55343354
min	24.15983206	5410.131337	5385.971505	97.88320326

Lampiran 9: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d. 2200 kVA) 30 % dan I2 (di atas 14 kVA) 70%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	83.86799162	9716.726218	9632.858226	99.13686987
1	81.58727944	9518.761843	9437.174563	99.14287929
2	81.22140565	9538.311974	9457.090569	99.14847191
3	82.28419637	9654.319711	9572.035515	99.14769555
4	82.00066271	9673.869843	9591.86918	99.15234891
5	86.88612557	10097.16878	10010.28265	99.13950012
6	87.66357342	9899.543099	9811.879526	99.11446849
7	147.866155	12605.28217	12457.41601	98.82695085
8	368.9225408	20309.72963	19940.80709	98.18351821
9	658.9038915	28069.84096	27410.93707	97.65262692
10	666.9454675	28091.85415	27424.90868	97.62584035
11	728.2796402	29449.51111	28721.23147	97.52702299
12	415.1814059	21225.36883	20810.18743	98.04393785
13	483.1745277	23709.69859	23226.52406	97.96212286
14	730.0968864	29563.96405	28833.86716	97.53044996
15	700.5065546	29084.90866	28384.4021	97.59151193
16	440.6266493	22047.78306	21607.15641	98.00149227
17	302.1667229	17293.00499	16990.83827	98.25266503
18	217.7797827	15297.81332	15080.03353	98.57639927
19	199.7251306	14594.25467	14394.52954	98.63148112
20	187.4945671	14354.72697	14167.23241	98.69384791
21	171.8009094	13752.6751	13580.87419	98.75078188
22	139.9728253	12302.05491	12162.08208	98.86219964
23	115.0575708	11257.4618	11142.40423	98.97794394
Total	7260.012463	411108.6344	403848.622	
max	730.0968864	29563.96405	28833.86716	99.15234891
min	81.22140565	9518.761843	9437.174563	97.52702299

Lampiran 10: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 70 % dan I2 (di atas 14 kVA) 30%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	84.73800867	9808.349168	9723.611159	99.13606248
1	83.066826	9685.025097	9601.958271	99.14231687
2	81.42967898	9561.701026	9480.271347	99.14837665
3	81.42967898	9561.701026	9480.271347	99.14837665
4	81.59061635	9631.892714	9550.302098	99.15291191
5	82.35187512	9681.257878	9598.906003	99.14936802
6	90.60021296	10196.0914	10105.49119	99.11142212
7	162.9555395	13793.81305	13630.85751	98.81863312
8	406.730126	21941.7303	21535.00017	98.14631699
9	381.8930221	29098.43534	28716.54231	98.68758228
10	720.1686037	29452.05896	28731.89035	97.55477671
11	736.7900842	29665.65456	28928.86448	97.51635319
12	491.5767765	24268.1837	23776.60692	97.97439816
13	522.838295	25009.19419	24486.3559	97.90941567
14	698.9045263	28750.14208	28051.23755	97.56903975
15	615.2554178	26811.43092	26196.1755	97.7052496
16	459.5057552	22932.58716	22473.0814	97.99627599
17	330.9877074	19404.87952	19073.89181	98.29430682
18	229.0963767	16123.82002	15894.72365	98.5791433
19	211.8321327	15523.90362	15312.07148	98.63544545
20	193.6801072	14818.43316	14624.75305	98.6929785
21	175.412125	14042.59334	13867.18121	98.75085662
22	144.2089221	12702.02179	12557.81287	98.86467742
23	117.1831332	11467.0043	11349.82116	98.97808416
Total	7184.225548	423931.9043	416747.6787	
max	736.7900842	29665.65456	28928.86448	99.15291191
min	81.42967898	9561.701026	9480.271347	97.51635319

Lampiran 11: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 50%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 25 % dan I2 25%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	47.7056042	7174.512912	7126.807308	99.33506839
1	44.66015753	6856.709882	6812.049725	99.34866491
2	44.77560518	6896.252113	6851.476508	99.35072552
3	46.52161851	7086.836252	7040.314634	99.34354884
4	48.29946941	7292.249134	7243.949664	99.33766019
5	55.71635875	7962.103507	7906.387148	99.30023067
6	50.28957961	7354.683402	7304.393822	99.31622373
7	83.74327808	9227.062371	9143.319093	99.09241669
8	233.5600393	15971.42056	15737.86052	98.53763766
9	556.6261213	25804.05317	25247.42705	97.8428733
10	529.1379129	25012.01862	24482.8807	97.88446538
11	561.9198571	25841.70994	25279.79008	97.82553144
12	270.0530399	16754.65577	16484.60273	98.38819106
13	349.3945462	20113.64047	19764.24592	98.26289753
14	556.2075045	25697.53681	25141.3293	97.83556102
15	551.3927111	25511.37488	24959.98217	97.83863977
16	245.1538086	16055.9238	15810.76999	98.47312549
17	146.2947925	11103.53949	10957.24469	98.68244903
18	113.9926475	10669.91307	10555.92042	98.93164408
19	104.0417988	10131.1577	10027.1159	98.97305124
20	101.4896385	10264.26399	10162.77435	99.01123316
21	91.74021625	9741.478242	9649.738025	99.05825159
22	71.86268532	8471.865252	8400.002566	99.15174896
23	61.28857992	7959.771649	7898.48307	99.23002088
Total	4965.867571	324954.733	319988.8654	
max	561.9198571	25841.70994	25279.79008	99.35072552
min	44.66015753	6856.709882	6812.049725	97.82553144

Lampiran 12: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 25%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 50 % dan I2 25%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	48.38918903	7246.502373	7198.113184	99.33224076
1	45.8226584	6987.345296	6941.522638	99.34420504
2	44.93924852	6914.629225	6869.689977	99.35008448
3	45.85021199	7014.064429	6968.214217	99.34631037
4	47.97729012	7259.267104	7211.289814	99.33908906
5	52.15373339	7635.316372	7583.162639	99.31694077
6	52.59693926	7587.685638	7535.088699	99.30681183
7	95.59922306	10160.90807	10065.30884	99.05914686
8	263.2659991	17253.70679	16990.4408	98.47414818
9	589.7798141	26612.23446	26022.45465	97.78380198
10	570.9560913	26080.75097	25509.79488	97.81081422
11	568.6066345	26011.53694	25442.93031	97.81402139
12	330.0779739	19145.43888	18815.36091	98.27594459
13	380.5589348	21134.67273	20754.11379	98.19936206
14	531.6992216	25058.10526	24526.40604	97.87813477
15	484.409675	23725.07095	23240.66127	97.95823719
16	259.9873918	16751.12702	16491.13963	98.4479409
17	168.9398517	12762.86947	12593.92962	98.67631764
18	122.8842571	11318.91834	11196.03408	98.91434629
19	113.5544433	10861.59616	10748.04171	98.95453263
20	106.3497057	10628.60456	10522.25486	98.99940105
21	94.57759991	9969.271142	9874.693542	99.05130878
22	75.19104706	8786.124945	8710.933898	99.14420695
23	62.95866467	8124.412184	8061.453519	99.22506806
Total	5157.125799	335030.1593	329873.0335	
max	589.7798141	26612.23446	26022.45465	99.35008448
min	44.93924852	6914.629225	6869.689977	97.78380198

Lampiran 13: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 25%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 25 % dan I2 50%

Jam	Susut (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	67.03842703	8547.285288	8480.246861	99.2156758
1	64.66722189	8325.76686	8261.099638	99.2232881
2	63.95977305	8290.689438	8226.729665	99.22853493
3	64.87073652	8390.124641	8325.253905	99.22682035
4	65.76837297	8520.917869	8455.149496	99.22815389
5	68.38451535	8779.333783	8710.949268	99.22107398
6	71.18492474	8820.849283	8749.664358	99.19299239
7	124.1062774	11530.23218	11406.12591	98.92364459
8	321.4390409	18976.60316	18655.16412	98.30612972
9	629.1451587	27452.71227	26823.56712	97.70825865
10	625.2189244	27235.97	26610.75108	97.70443673
11	652.8817115	27828.55455	27175.67284	97.6539144
12	380.3726225	20462.61963	20082.24701	98.14113428
13	437.2779967	22580.73696	22143.45897	98.06349103
14	633.2876857	27357.41876	26724.13108	97.68513363
15	591.2239418	26362.4808	25771.25686	97.75732813
16	356.0206774	19591.77573	19235.75505	98.18280547
17	240.882028	15293.82903	15052.947	98.4249724
18	173.4382571	13464.91145	13291.47319	98.71192426
19	159.5974361	12886.3638	12726.76637	98.76150139
20	149.3170204	12615.08207	12465.76505	98.81636109
21	135.2981319	11972.74873	11837.4506	98.86994929
22	109.4413463	10657.73204	10548.29069	98.97312725
23	90.40762356	9781.213461	9690.805837	99.07570135
Total	6275.229852	375725.9518	369450.7219	
max	652.8817115	27828.55455	27175.67284	99.22853493
min	63.95977305	8290.689438	8226.729665	97.6539144

Lampiran 14: Tabel Susut Teknis dan Efisiensi dengan Komposisi I1-a (450 VA s.d 2200 VA) 34%, I1-b (3500 VA s.d. 14 kVA) 34% dan I2 32%

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	53.22676855	7575.083364	7521.856596	99.29734412
1	50.53935722	7304.865572	7254.326215	99.30814117
2	50.06715763	7283.235788	7233.16863	99.31256986
3	51.2817756	7415.816059	7364.534283	99.30848102
4	52.94655973	7615.347142	7562.400582	99.30473872
5	58.31846811	8097.353281	8039.034813	99.27978358
6	56.82734997	7839.27491	7782.44756	99.27509431
7	99.06262152	10194.77984	10095.71722	99.02830053
8	268.329207	17257.30172	16988.97251	98.44512652
9	588.4599289	26547.57158	25959.11165	97.78337568
10	570.5484355	26007.18076	25436.63232	97.80618883
11	589.159191	26445.33193	25856.17274	97.77216186
12	321.9674476	18635.29432	18313.32687	98.27227066
13	384.6952649	21157.76942	20773.07416	98.18177778
14	568.3172692	25917.71132	25349.39405	97.80722433
15	537.8983063	25093.92961	24556.0313	97.85646045
16	280.7842576	17273.04822	16992.26397	98.37443713
17	180.3258783	12849.73845	12669.41257	98.59665721
18	133.4383991	11668.18727	11534.74887	98.85639135
19	122.6524797	11148.19153	11025.53905	98.89979931
20	116.3007671	11037.88367	10921.58291	98.94634904
21	104.6514237	10432.84034	10328.18891	98.99690381
22	83.32172441	9182.286991	9098.965267	99.09258201
23	69.83744082	8516.397792	8446.560351	99.17996502
Total	5392.957479	342496.4209	337103.4634	
max	589.159191	26547.57158	25959.11165	99.31256986
min	50.06715763	7283.235788	7233.16863	97.77216186

Lampiran 15: Tabel Rekap Akhir Susut Teknis, Daya Masuk, Daya Keluar, dan Efisiensi dari Seluruh Variasi Pembebanan

Pelanggan	Susut Teknis			P _{in}			P _{out}			Efisiensi (%)	
	Max (kW)	Min (kW)	Total (kWh)	Max (kW)	Min (kW)	Total (kWh)	Max (kW)	Min (kW)	Total (kWh)	Max	Min
Tunggal											
I1a	581.01	18.41	3327.06	26531.59	4722.14	258451.77	25950.58	4703.73	255124.72	99.61	97.81
I1b	583.00	24.37	4144.25	26577.00	5433.52	301501.32	25994.00	5409.15	297357.07	99.55	97.81
I2	844.05	104.23	8928.54	31978.22	11237.63	475872.15	31134.17	11133.40	466943.61	99.07	97.36
Bobot 50%-50%											
I1a-I1b	510.67	24.00	3726.96	24813.70	5384.74	279518.57	24303.03	5360.74	275791.61	99.55	97.94
I1a-I2	664.30	63.40	6068.29	28311.18	8183.26	364848.98	27646.88	8119.86	358780.69	99.23	97.65
I1b-I2	670.84	64.14	6485.50	28401.86	8310.74	386831.73	27731.02	8246.60	380346.23	99.23	97.64
Bobot 70%-30%											
I1a-I1b	495.76	23.05	3570.48	24258.11	5277.85	271275.04	23762.35	5254.81	267704.57	99.56	97.96
I1a-I2	631.71	47.03	4995.58	27614.82	6981.30	323215.29	26983.11	6934.27	318219.71	99.33	97.71
I1b-I2	633.10	48.58	5569.36	27646.70	7184.87	353441.57	27013.60	7136.29	347872.21	99.32	97.71
Bobot 30%-70%											
I1a-I1b	540.81	24.16	3880.24	25548.41	5410.13	287169.57	25007.60	5385.97	283289.33	99.55	97.88
I1a-I2	730.10	81.22	7260.01	29563.96	9518.76	411108.63	28833.87	9437.17	403848.62	99.15	97.53
I1b-I2	736.79	81.43	7184.23	29665.65	9561.70	423931.90	28928.86	9480.27	416747.68	99.15	97.52
Beban Gabungan (I1a, I1b, I2)											
50%-25%-25%	561.92	44.66	4965.87	25841.71	6856.71	324954.73	25279.79	6812.05	319988.87	99.35	97.83
25%-50%-25%	589.78	44.94	5157.13	26612.23	6914.63	335030.16	26022.45	6869.69	329873.03	99.35	97.78
25%-25%-50%	652.88	63.96	6275.23	27828.55	8290.69	375725.95	27175.67	8226.73	369450.72	99.23	97.65
34%-34%-32%	589.16	50.07	5392.96	26547.57	7283.24	342496.42	25959.11	7233.17	337103.46	99.31	97.77

