



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT ENERGI PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH WILAYAH PLN APJ CEMPAKA PUTIH DENGAN
OBJEK PELANGGAN RESIDENSIAL**

SKRIPSI

PANDU NUGROHO PRIANTO

0806331191

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT ENERGI PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH WILAYAH PLN APJ CEMPAKA PUTIH DENGAN
OBJEK PELANGGAN RESIDENSIAL**

SKRIPSI

PANDU NUGROHO PRIANTO

0806331191

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

JUNI 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 : Pandu Nugroho Prianto

NPM : 0806331191

Tanda Tangan :



Tanggal : 10 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Haris Hakim
NPM : 0806330932
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Studi Susut Energi pada Saluran Distribusi dengan Variasi Beban Pelanggan Bisnis.

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 : 27 Juni 2012

iii

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang tidak berhenti 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 seminar ini
2. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan motivasi.
3. Aditya Prihambada, Alfian Yusuf Habibie, dan Haris Hakim sebagai rekan perjuangan selama masa pembuatan skripsi.
4. Rekan-rekan peminatan Tenaga Listrik yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan saya dan menjadi tempat berkonsultasi
5. 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, 10 Juni 2012



Pandu Nugroho Prianto

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Pandu Nugroho Prianto
NPM : 0806331191
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**“STUDI SUSUT ENERGI PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH WILAYAH PLN APJ CEMPAKA PUTIH DENGAN
OBJEK PELANGGAN RESIDENSIAL”**

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 mempublikasikan skripsi 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 : 10 Juni 2012
Yang menyatakan,
(Panduroho Prianto)



ABSTRAK

Nama : Pandu Nugroho Prianto

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Studi Susut Energi Jaringan Tegangan Rendah Wilayah PLN APJ
Cempaka Putih Dengan Objek Pelanggan Residensial

Residensial merupakan salah satu pelanggan listrik terbesar di Indonesia, sehubungan dengan itu, maka perlu dilihat bagaimana pengaruh susut yang dipengaruhi oleh pelanggan residensial di jaringan tegangan rendah. Residensial sendiri memiliki profil beban yang dapat digunakan untuk mencari susut setiap jam sesuai dengan profil beban. Dengan demikian dapat dicari juga bagaimana komposisi pelanggan ideal, yaitu R1 40% - R2 30% - R3 30% dengan efisiensi 96.24%. Setelah itu akan dilihat bagaimana efisiensi komposisi tersebut untuk beberapa tahun ke depan untuk diketahui tingkat efisiensi sistem tersebut.

Kata Kunci:

Jaringan Tegangan Rendah, Susut Energi, Profil Beban

ABSTRACT

Name : Pandu Nugroho Prianto
Study Program : Electrical Engineering
Title : Study of Energy Losses at PLN Cempaka Putih Area Low Voltage Distribution System Using Residence as Object of Study

Residence is the largest consumers in Indonesia electrical system, therefore it is necessary to analyse the electrical losses which occurred in the distribution system caused by residence consumers. Residence has its own load profile that can be used to calculate the amount of losses occurred in the distribution system in every hour. Thus the ideal composition for the consumers can be known, which is R1 40% - R2 30% - R3 30% with 96.24% for the efficiency. After knowing the ideal composition, the efficiency for the coming years should be forecasted to see whether the system is still good or not.

Keywords:

Low Voltage Distribution System, Energy Losses, Load Profile

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metodologi Penelitian.....	1
1.5. Sistematika Penulisan	1
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Sistem Tenaga Listrik	4
2.2. Komponen-Komponen Saluran Distribusi.....	8
2.2.1. Gardu Induk	8
2.2.2. Saluran Distribusi Primer.....	8
2.2.3. Gardu Distribusi	9
2.2.4. Saluran Distribusi Sekunder.....	11
2.3. Persyaratan Sistem Distribusi.....	12
2.3.1. Faktor Keandalan Sistem	12
2.3.2. Faktor Kualitas Sistem	13

2.3.3.	Faktor Keselamatan.....	13
2.3.4.	Faktor Pemeliharaan.....	13
2.3.5.	Faktor Perencanaan	14
2.4.	Beban Pada Jaringan	14
2.4.1.	Spesifikasi Pelanggan Residensial	14
2.4.2.	Kurva Beban dan Beban Puncak.....	15
2.4.3.	Manajemen Beban.....	16
2.5.	Susut Energi Jaringan	17
2.4.1.	Susut Jaringan Tegangan Menengah.....	18
2.4.2.	Susut Transformator.....	19
2.4.3.	Susut Jaringan Tegangan Rendah	20
2.4.4.	Susut Sambungan Rumah	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		21
3.1.	Penjelasan Umum.....	21
3.2.	Kerangka Penelitian	21
3.3.	Tahap Pra Penelitian.....	22
3.3.1.	Studi Pustaka.....	22
3.3.2.	Data PLN APJ Cempaka Putih	23
3.4.	Klasifikasi Data	24
3.4.1.	Jaringan Tegangan Rendah	24
3.4.2.	Penghantar.....	26
3.4.3.	Pelanggan dalam Jaringan Tegangan Rendah.....	26
3.5.	Pengolahan Data.....	29
3.6.	Analisis Data	31
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA.....		34
4.1.	Pengolahan Data.....	34

4.1.1.	Arus maksimum transformator distribusi	34
4.1.2.	Resistansi Saluran	34
4.1.3.	Persen Pembebanan.....	35
4.1.4.	Arus Pembebanan.....	36
4.1.5.	Arus pada masing-masing titik beban	36
4.1.6.	Susut pada Jaringan Tegangan Rendah.....	37
4.1.7.	Efisiensi Jaringan Tegangan Rendah	37
4.2.	Analisis Grafik	38
4.2.1.	Analisis Profil Susut dan Efisiensi Beban Satu Jenis 100 %	40
4.2.2.	Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Dua Jenis Pelanggan Bobot 50%-50%	46
4.2.3.	Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Tiga Jenis Pelanggan Bobot 40%-30%-30%	55
4.2.4.	Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Dua Pelanggan Bobot 70%-30%	59
4.2.5.	Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Empat Pelanggan Bobot Seimbang	66
4.3.	Analisis Hubungan Pelanggan Dengan Susut dan Efisiensi	69
4.4.	Analisis Peramalan Beban.....	73
BAB 5 KESIMPULAN.....		75
DAFTAR ACUAN		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Umum Sistem Tenaga Listrik.....	4
Gambar 2.2. Overhead Lines	6
Gambar 2.3. Underground cables.....	6
Gambar 2.4. Skema umum distribusi.....	7
Gambar 2.5. Gardu Beton	9
Gambar 2.6. Saluran Distribusi Sekunder.....	11
Gambar 2.7. TDL untuk pelanggan residensial	15
Gambar 2.8. Susut Jaringan Tegangan Menengah.....	19
Gambar 2.9. (a) SR 1 fasa 1 pelanggan, (b) SR 1 fasa multi pelanggan.....	20
Gambar 3.1. Kerangka Penelitian	22
Gambar 3.2. Ilustrasi Sampel.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Technical Data Pembangkit	5
Tabel 3.1. Sampel Jaringan Tegangan Rendah	25
Tabel 3.2. Tipe Pelanggan PLN	27
Tabel 3.3. Variasi Pembebanan.....	32
Tabel 4.1. Tabel Pelanggan PLN APJ Cempaka Putih	35
Tabel 4.2. Tabel Susut dan Efisiensi kondisi real Cempaka Putih.....	39
Tabel 4.3. Pelanggan R1 (450-900 VA).....	40
Tabel 4.4. Tabel Pelanggan R1 (1300-2200 VA)	41
Tabel 4.5. Tabel Pelanggan R2 (3300-5500 VA)	42
Tabel 4.6. Tabel Pelanggan R3 (>6600 VA)	43
Tabel 4.7. Komposisi R1 (450-900 VA) dan R2 (3300-5500 VA).....	47
Tabel 4.8. Komposisi R1 (450-900 VA) dan R3 (>6600 VA).....	48
Tabel 4.9. Komposisi R1 (1300-2200 VA) dan R2 (3300-5500 VA).....	49
Tabel 4.10. Komposisi Pelanggan R1 (1300-2200 VA) dan R3 (>6600 VA)	50
Tabel 4.11. Komposisi Pelanggan R1 (450-900) dan R1 (1300-2200 VA).....	51
Tabel 4.12. Komposisi Pelanggan R2 (3300-5500 VA) dan R3 (>6600 VA)	52
Tabel 4.13. Pelanggan R1 (450-900 VA) R2 (3300-5500 VA) dan R3 (>6600 VA)	56
Tabel 4.14. Pelanggan R1 (1300-2200 VA) R2 (3300-5500 VA) & R3 (>6600 VA).....	57
Tabel 4.15. Pelanggan R1 (450-900 VA) dan R2 (3300-5500 VA)	60
Tabel 4.16. Pelanggan R1 (450-900 VA) dan R3 (>6600 VA)	61
Tabel 4.17. Pelanggan R1 (1300-2200 VA) & R2 (3300-5500 VA).....	62
Tabel 4.18. Pelanggan R1 (1300-2200 VA) & R3 (>6600 VA)	63
Tabel 4.19. Empat Pelanggan Bobot Seimbang.....	67

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1 Profil Pelanggan R1 (450-900 VA)	28
Grafik 3.2 Profil Pelanggan R1 (1300-2200 VA)	28
Grafik 3.3 Profil Pelanggan R1 (3300-5500 VA)	28
Grafik 3.4 Profil Pelanggan R1 (>6600 VA)	29
Grafik 4.1. Profil Susut Satu Jenis Pelanggan	43
Grafik 4.2. Efisiensi Jaringan Untuk Satu Jenis Pelanggan	44
Grafik 4.3. Susut Komposisi Pelanggan 50%-50%	52
Grafik 4.4. Efisiensi Komposisi Pelanggan 50%-50%	53
Grafik 4.5. Susut Jaringan dengan Tiga Pelanggan Bobot 40%-30%-30%	57
Grafik 4.6. Efisiensi Jaringan dengan Tiga Jenis Beban Bobot 40%-30%-30% ..	58
Grafik 4.7. Susut Jaringan dengan Dua Pelanggan Bobot 70%-30%	63
Grafik 4.8. Efisiensi Jaringan dengan Dua Pelanggan Bobot 70%-30%	64
Grafik 4.9. Susut Jaringan dengan Empat Pelanggan Bobot Sama.....	67
Grafik 4.10. Efisiensi Jaringan dengan Empat Pelanggan Bobot Sama	68
Grafik 4.11. Susut terhadap Komposisi Pelanggan.....	69
Grafik 4.12. Efisiensi terhadap Komposisi Pelanggan.....	70
Grafik 4.13. Efisiensi Sepuluh Tahun Ke Depan.....	73

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peradaban manusia saat ini sudah mencapai titik dimana manusia tidak mudah merasa puas dengan apa yang dimiliki. Sisi positif dari sifat dasar manusia tersebut adalah banyaknya perkembangan teknologi yang dilakukan, baik itu dari segi peralatan, sistem, ataupun cara pemakaian. Namun hal yang perlu dilihat dari perkembangan teknologi yang besar-besaran itu adalah kebutuhan akan listrik yang senantiasa meningkat juga.

Saat ini bisa dikatakan listrik sudah menjadi kebutuhan dasar bagi manusia, tidak memandang status ekonomi, sosial, maupun pekerjaan. Perlu diingat juga pemakai listrik tidak hanya masyarakat biasa, perusahaan-perusahaan dan industri-industri merupakan pemakai listrik yang paling aktif, melihat pada awal pemakaian listrik, bahwa listrik digunakan untuk memberikan energi kepada industri agar bisa memproduksi. Dari kalangan penduduk, listrik digunakan untuk memenuhi keperluan dan kegiatan sehari-hari, seperti mencuci baju, memasak, dan digunakan untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan rumahan.

Namun ternyata pemakaian listrik rumah tangga tidaklah sekecil dan sesederhana itu, seiring dengan naiknya taraf hidup masyarakat, wajar jika ada penduduk yang menggunakan listrik melebihi penduduk lainnya. Indonesia merupakan negara yang memiliki penduduk berjumlah banyak dan memiliki taraf hidup yang sangat beragam, dan melihat Indonesia sebagai negara berkembang, pertumbuhan penduduk Indonesia bisa dikatakan cukup tinggi, dan hal ini bisa berdampak pada meningkatnya pemakaian listrik di kalangan masyarakat umum.

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 dikeluarkan, dan notabene semakin besar arus yang mengalir, semakin besar rugi-rugi daya karena kabel dan masalah-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-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 residensial berpengaruh terhadap rugi-rugi daya yang terjadi, sehingga bisa dilihat apakah sistem yang ada sudah mumpuni ataupun masih dapat diperbaiki.

1.2. Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh profil beban pelanggan rumah tangga terhadap susut di jaringan tegangan rendah pada wilayah Cempaka Putih, sehingga bisa diketahui tingkat susut dan efisiensi jaringan rendah pada wilayah tersebut, dan bisa dilihat 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 residensial. Pelanggan yang diperhitungkan adalah golongan R1, R2, R3 dengan

kurva beban masing-masing pelanggan dengan asumsi sistem memiliki beban seimbang pada setiap jam. Sementara simulasi sistem yang digunakan adalah dengan menggunakan data asset yang didapat dari PLN 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.

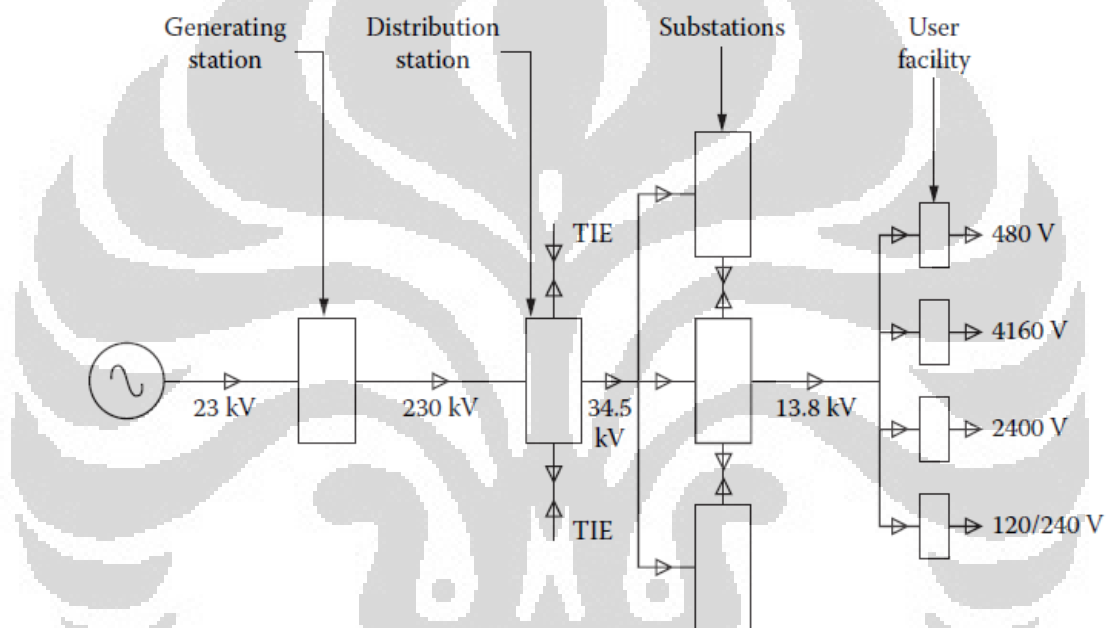
1.5. Sistematika Penulisan

Skripsi ini dibagi menjadi lima bab dengan rincian bab satu berisi latar belakang penulisan skripsi tentang mengapa analisis rugi daya teknis pada jaringan pengguna residensial perlu dilakukan, kemudian juga dijelaskan tujuan penulisan, 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 di distribusi, dan rugi-rugi teknis yang ada di 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 dan 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 Umum Sistem Tenaga Listrik

Sumber : AC Power System Handook

Sehingga pada intinya STL dibagi menjadi tiga segmen, yaitu Pembangkitan, Transmisi, dan Distribusi [1].

- **Pembangkitan**

Listrik dapat dibangkitkan dengan berbagai macam cara, di dunia saat ini 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, angin, dan angin. Pada intinya prinsip kerja semua pembangkit listrik tersebut

sama, yaitu menggunakan sumber-sumber energi tersebut untuk memutar turbin yang kemudian 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 pembangkit-pembangkit besar yang membutuhkan waktu lama untuk *starting*, sementara saat akan mencapai beban puncak, pembangkit listrik tambahan akan beroperasi, yaitu pembangkit yang membutuhkan waktu cepat untuk beroperasi.

Kemudian 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 [1].

Tabel 2. 1. Technical Data Pembangkit

Power Generation Type	Typical Size (MW)	Capitalized Plant Cost (\$/kW)	Construction Lead Time (Yr)	Heat Rate (BTU/kWh)	Fuel Type
Nuclear	1,200	2,400	10	10,400	Uranium
Pulverized coal/steam	500	1,400	6	9,900	Coal
Atmospheric fluidized bed	400	1,400	6	9,800	Coal
Gas turbine	100	350	2	11,200	Natural gas
Combined-cycle	300	600	4	7,800	Natural gas
Coal-gasification	300	1,500	6	9,500	Coal
combined-cycle					
Pumped storage hydro	300	1,200	6	-	-
Conventional hydro	300	1,700	6	-	-

Sumber : AC Power System Handbook

- 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 [1].

Komponen paling penting di transmisi adalah konduktor, dari 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, kemudian 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.omnizens.ch

Sementara *underground cables* merupakan 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.

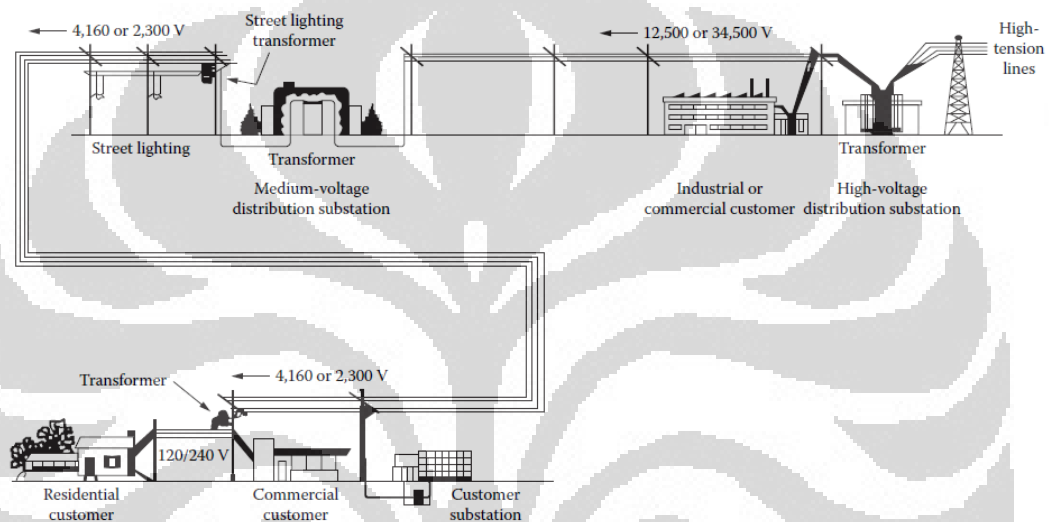


Gambar 2.3. Underground cables

Sumber : www.erkaelektrik.com

- Distribusi

Distribusi merupakan segmen 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

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 [6],

- 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. **Komponen-Komponen Saluran Distribusi**

Terdapat beberapa komponen yang biasa digunakan di jaringan distribusi, beberapa di antaranya

2.2.1. Gardu Induk

Gardu induk merupakan gardu yang berfungsi menyalurkan listrik dari pembangkit listrik ke saluran transmisi ataupun langsung ke pusat beban, tergantung sistem distribusi yang digunakan, langsung atau tidak langsung. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam instalasi gardu induk adalah :

- a. Konstruksi sederhana tapi kuat
- b. Fleksibel
- c. Tingkat kehandalan tinggi
- d. Sistem proteksi baik
- e. Operasi dan perawatan mudah dilakukan

2.2.2. Saluran Distribusi Primer

Saluran Distribusi Primer merupakan saluran distribusi yang menghubungkan antara gardu induk dengan gardu distribusi. Tegangan nominal yang biasa digunakan dalam saluran distribusi primer ini sebesar 20 kV, selain itu cukup banyak pelanggan-pelanggan berdaya besar yang langsung berlangganan dari saluran distribusi primer, hal ini dikarenakan pelanggan berdaya besar tersebut pasti sudah memiliki transformator sendiri.

2.2.3. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi ini berfungsi menghubungkan jaringan tegangan menengah (JTM) dengan jaringan tegangan rendah (JTR). Kapasitas transformator yang digunakan sebagai gardu distribusi ini lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas transformator gardu induk. Gardu ini mengubah nilai tegangan sistem dari 20 kV menjadi tegangan pemakaian 220 V / 380 V. Di Indonesia besar kapasitas yang biasa digunakan gardu distribusi adalah 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA.

Selain itu gardu distribusi ini juga memiliki berbagai bentuk, tergantung dengan lokasi pemasangan, beberapa bentuk tersebut adalah :

- Gardu Beton

Merupakan gardu distribusi dimana bangunan pelindungnya terbuat dari beton. Gardu ini termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena umumnya semua peralatan penghubung, pemisah, dan transformator distribusi berada di dalam bangunan. Semua peralatan tersebut didesain dan diinstalasi di lokasi yang disesuaikan dengan ukuran bangunan gardu.



Gambar 2.5. Gardu Beton

Sumber : Dokumentasi PLN APJ Cempaka Putih

Sementara ketentuan teknis gardu beton untuk, komponen tegangan menengah adalah : a) Tegangan perencanaan 25 kV ; b) Power frekuensi withstand voltage 50 kV dalam 1 menit ; c) Impulse withstand voltage 125 kV ; d)

Arus nominal 400 A ; e) Arus nominal transformator 50 A ; e) Arus hubung singkat dalam 1 detik 12,5 kA

Sementara untuk komponen tegangan rendah, ketentuannya adalah : a) Tegangan perencanaan 414 V ; b) Power frekuensi withstand 3 kV dalam 1 menit ; c) Impulse withstand voltage 20 kV ; d) Arus perencanaan busbar 800 A, 1200 A, dan 1800 A ; e) Arus perencanaan sirkit keluar 400 A.

- Gardu besi

Gardu yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu ini juga termasuk gardu jenis pasangan dalam. Ukuran gardu ini lebih kecil dan biasanya para pekerja tinggal memasang fondasinya saja.

- Gardu tiang

Merupakan gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari tiang. Biasanya transformator distribusi terletak di atas tiang. Sehubungan karena letak transformator yang berada di atas tiang, maka kapasitas transformator tersebut tidak bisa terlalu besar, karena semakin besar kapasitas maka ukuran transformator akan semakin besar juga. Umumnya transformator yang terpasang di gardu tiang memiliki kapasitas 50 kVA untuk satu fasa dan 160 kVA untuk tiga fasa.

Perlengkapan yang umumnya ada di gardu tiang adalah :

- Fuse Cut Out
- Lightning Arrester
- Transformator
- Lemari PHB
- Isolator tumpu

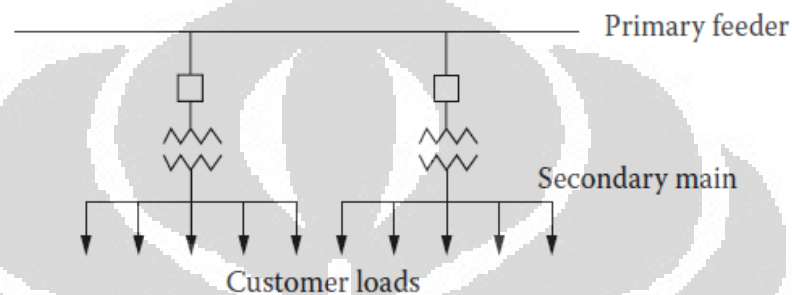
- Gardu Mobil

Gardu distribusi ini memiliki bentuk bangunan berupa mobil, sehingga bisa berpindah tempat sesuai kebutuhan. Dikarenakan mobilitas yang tinggi, gardu ini biasa digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya yang bersifat temporer. Secara umum ada dua jenis gardu mobil, yaitu gardu mobil pasang dalam, dengan bentuk boks besar, dimana semua instalasi gardu sudah ada di dalam boks tersebut. Kemudian ada gardu mobil jenis pasang luar, dengan bentuk berupa mobil trailer, sehingga bentuk fisiknya akan lebih panjang, dan semua

perlengkapan gardu tersebut bisa terlihat dari luar. Untuk masalah kapasitas, biasanya gardu mobil pasang luar memiliki kapasitas lebih besar.

2.2.4. Saluran Distribusi Sekunder

Saluran Distribusi Sekunder merupakan saluran antara gardu distribusi dengan pelanggan. Tegangan nominal yang digunakan di saluran distribusi sekunder ini bernilai 220 V / 380 V.



Gambar 2.6. Saluran Distribusi Sekunder

Sumber : AC Power System Handbook

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.

2.3. Persyaratan Sistem Distribusi

Menyalurkan listrik yang berkualitas kepada konsumen merupakan kewajiban setiap penyedia layanan listrik, dan syarat-syarat yang biasanya dipenuhi untuk memenuhi kualitas pelayanan tersebut adalah :

2.3.1. 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

2.3.2. 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

2.3.3. 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.

2.3.4. Faktor Pemeliharaan

- a. Harus ada pemeliharaan secara berkala untuk melihat kondisi terbaru peralatan listrik, dengan tujuan kualitas sistem tetap terjaga.
- b. Sebisa mungkin selalu ada peralatan listrik cadangan yang tersedia sehingga apabila terjadi kerusakan secepat mungkin bisa ditanggulangi.

2.3.5. Faktor Perencanaan

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

2.4. Beban Pada Jaringan

Sistem distribusi yang ada berfungsi untuk menyalurkan listrik kepada beban yang terpasang. Penggolongan beban yang ada di Indonesia sudah dipaparkan sebelumnya, namun pada subbab ini akan dibahas lebih dalam kepada pelanggan residensial.

2.4.1. Spesifikasi Pelanggan Residensial

Pelanggan residensial merupakan jenis pelanggan yang paling banyak terdapat di Indonesia. Secara gampangnya pelanggan residensial merupakan masyarakat umum yang berlangganan listrik dan menggunakannya sebagai tempat tinggal non profit. Listrik yang disalurkan tersebut mencakup penerangan dan untuk keperluan peralatan listrik lainnya. Namun dalam keadaan nyata di lapangan tidak sedikit pelanggan listrik yang menggunakan rumahnya sebagai tempat usaha seperti toko kecil, warnet, wartel, atau berbagai jenis usaha lainnya yang tidak membutuhkan ruang besar dan tidak mengganti tarifnya. Sementara penggolongan Tarif Dasar Listrik untuk residensial adalah sebagai berikut:

- Golongan tarif untuk residensial berdaya kecil, dengan daya terpasang antara 450-2200 VA (R1/TR/1 fasa)
- Golongan tarif untuk residensial berdaya sedang, dengan daya terpasang antara 3300-5500 VA (R2/TR/1 fasa)
- Golongan tarif untuk residensial berdaya besar, dengan daya terpasang 6600 VA ke atas (R3/TR/3 fasa)

Golongan-golongan ini biasanya berhubungan dengan taraf hidup pengguna listriknya, semakin besar daya listrik yang terpasang, maka semakin banyak pula peralatan listrik yang dimiliki seperti AC, kulkas, mesin cuci, sehingga dibutuhkan daya yang lebih besar.

TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN RUMAH TANGGA

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh)	
1.	R-1/TR	450 VA	11.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 169 Blok II : di atas 30 kWh s.d. 60 kWh : 360 Blok III : di atas 60 kWh : 495	415
2.	R-1/TR	900 VA	20.000	Blok I : 0 s.d. 20 kWh : 275 Blok II : di atas 20 kWh s.d. 60 kWh : 445 Blok III : di atas 60 kWh : 495	605
3.	R-1/TR	1.300 VA	*)	790	790
4.	R-1/TR	2.200 VA	*)	795	795
5.	R-2/TR	3.500 s.d. 5.500 VA	*)	890	890
6.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	**)	Blok I : H1 x 890 Blok II : H2 x 1.380	1.330

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian Blok I.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
 H1 : Persentase batas hemat terhadap jam nyala rata-rata nasional x daya tersambung (kVA).
 H2 : Pemakaian listrik (kWh) - H1.
 Besar persentase batas hemat dan jam nyala rata-rata nasional ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan persetujuan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

DR. H. SUSILO BAMBANG YUDHOYONO

Gambar 2.7. TDL untuk pelanggan residensial

Sumber : PerPres No 8 Tahun 2011 tentang TDL

2.4.2. Kurva Beban dan Beban Puncak

1. Kurva Beban

Kurva beban menunjukkan besar pembebanan suatu gardu gardu yang diukur dengan satuan kW, Ampere, ataupun kVA yang merupakan fungsi dari waktu. Interval waktu pengukuran yang digunakan biasanya bergantung pada kegunaan hasil pengukuran tersebut, namun biasanya yang digunakan adalah interval 15 menit, 30 menit, satu jam, satu hari, ataupun satu minggu [4].

Dari kurva beban juga dapat dilihat bagaimana permintaan akan listrik pada suatu waktu. Sehingga dapat ditentukan besaran dari beban yang terpasang dan juga kapasitas saluran dapat ditentukan juga berdasarkan pada beban dan kurva. Dari kurva beban ini juga dapat dilihat

bagaimana kecenderungan penggunaan listrik pada suatu daerah yang diliputi oleh suatu gardu [4].

2. Beban Puncak

Beban Puncak atau kebutuhan maksimum dapat didefinisikan sebagai beban (kebutuhan akan listrik) yang tertinggi pada periode waktu tertentu. Periode itu sendiri dapat berupa dalam satu hari, satu bulan, ataupun satu tahun. Dalam periode tertentu berarti melihat dari beban rata-rata dan diketahui bahwa beban-beban puncak terjadi pada selang waktu tertentu, contohnya dalam periode satu hari, umumnya beban puncak untuk pelanggan residensial terjadi pada pukul 17.00-22.00.

2.4.3. Manajemen Beban

Seiring dengan bertambahnya permintaan akan listrik dan mahalannya penambahan kapasitas listrik baik dari segi pembangkit maupun transformator, maka dibutuhkan strategi dalam menanggapi adanya beban puncak pada waktu-waktu tertentu dan bagaimana mengoptimalkan kapasitas listrik yang ada. Beberapa teknik yang umum digunakan adalah [5] :

1. Menggeser beban tidak penting dan tidak kontinu di luar waktu beban puncak

Penjadwalan dari penggunaan beban listrik besar seperti pabrik-pabrik dan industri sangat penting, terutama pada malam hari, karena beban puncak umumnya terjadi pada malam hari. Biasanya dibuat shift kerja untuk menanggulangi hal ini, sehingga pembebanan yang dilakukan bisa optimal atau cenderung konstan.

2. Membuang beban tidak penting dari waktu beban puncak

Apabila permintaan akan listrik sudah mencapai batas yang ditentukan, perlu ada pembuangan beban listrik yang memakan kapasitas listrik besar, bisa dibuat sistem pantau untuk melihat dan mematikan beban tidak penting apabila batas pembebanan tertentu telah tercapai.

3. Menggunakan Pembangkit Cadangan atau Cadangan Panas

Hal ini umumnya dilakukan oleh industri-industri besar yang memiliki pembangkit mandiri, karena umumnya mereka akan bekerja

melewati kapasitas langganan, sehingga pembangkit cadangan selalu siap setiap saat. Kemudian bisa juga dengan menggunakan pembangkit diesel yang membutuhkan waktu cepat untuk starting.

4. Pemasangan Alat Koreksi Faktor Daya

Dengan adanya alat koreksi faktor daya seperti capacitor bank dapat membantu sistem dalam menyuplai daya reaktif sehingga membuat sistem mampu mengeluarkan daya secara optimal.

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
- Komposisi Jaringan

Sementara susut teknis merupakan susut yang terjadi karena memang ketidaksempurnaan 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 (Ampere)

R : besar hambatan dalam penghantar (Ω)

Kemudian besar hambatan kabel tersebut didefinisikan dengan persamaan

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

R : hambatan dalam penghantar (Ω)

ρ : hambatan jenis penghantar (Ω meter)

l : panjang penghantar (meter)

A : luas penampang penghantar (meter²)

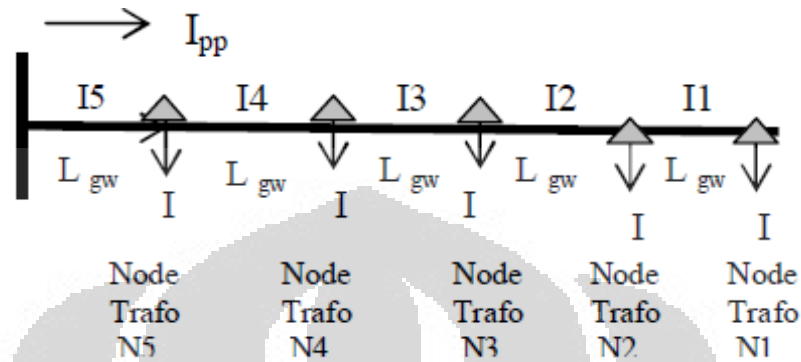
Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa secara sederhana rugi-rugi di jaringan diakibatkan oleh besar arus yang mengalir, ini dipengaruhi terutama oleh pusat-pusat beban, semakin banyak beban yang bekerja maka akan semakin besar pula arus yang mengalir di jaringan. Kemudian juga disebabkan oleh penghantar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

2.4.1. Susut Jaringan Tegangan Menengah

Merupakan susut yang terjadi pada jaringan distribusi primer, dengan kata lain merupakan susut yang terjadi pada tegangan nominal 20 kV. Pemodelan dilakukan dengan melihat penyulang utama sebagai sumber dan transformator-

transformator distribusi ataupun transformator khusus sebagai titik beban. Selain itu susut yang diperhitungkan biasanya merupakan susut untuk tiga fasa,



Gambar 2.8. Susut Jaringan Tegangan Menengah

sementara untuk mencari susut tiap fasa biasanya menggunakan data penggunaan arus setiap fasanya.

Untuk model di atas, persamaan yang biasa digunakan adalah

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

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)

pf = power factor

2.4.2. 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 :

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

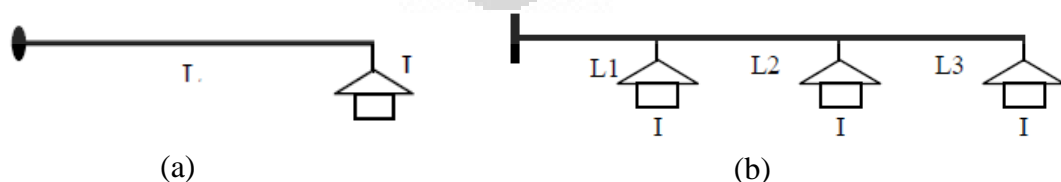
$P_{\text{transformator}}$	= susut akibat transformator (W)
P_{besi}	= susut akibat bahan besi (W)
P_{tembaga}	= susut akibat lilitan tembaga di transformator (W)
K	= tingkat pembebanan

2.4.3. Susut Jaringan Tegangan Rendah

Susut ini terjadi pada tegangan rendah, maka tegangan nominal yang digunakan adalah 220 V. Untuk model sebenarnya jaringan tegangan rendah mirip dengan jaringan tegangan menengah, perbedaannya terletak pada sumber adalah sisi sekunder transformator dimana sebelumnya pada jaringan tegangan menengah adalah penyulang, kemudian untuk titik beban berupa tiang-tiang jaringan, dimana sebelumnya pada jaringan tegangan menengah adalah transformator distribusi atau khusus. Kemudian hal yang biasanya 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. Untuk persamaan tidak ada bedanya antara Susut Jaringan Tegangan Menengah dengan Susut Jaringan Tegangan Rendah.

2.4.4. Susut Sambungan Rumah

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



Gambar 2.9. (a) SR 1 fasa 1 pelanggan, (b) SR 1 fasa multi pelanggan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Penjelasan Umum

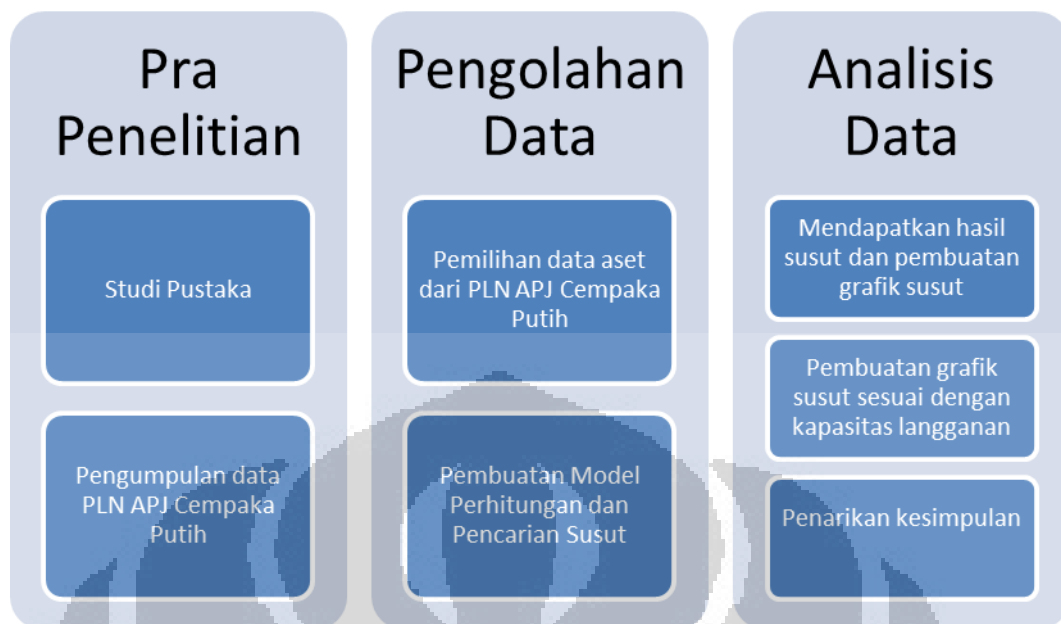
Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh profil beban pelanggan rumah tangga terhadap efisiensi sistem. Sehingga objek bahasan adalah pelanggan rumah tangga yang berada pada jaringan tegangan rendah 220 V. Pelanggan rumah tangga yang dibagi menjadi 3 golongan R1, R2, dan R3 memiliki profil beban yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan standar hidup yang berbeda sehingga perilaku 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 rumah-rumah 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 :

- 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.

- **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.
- **Jenis Pelanggan**
Jenis pelanggan yang ada Indonesia bisa dikatakan terbagi menjadi ke beberapa jenis yang cukup banyak, yang berhubungan dengan pengaruh susut yang disebabkan oleh pelanggan-pelanggan tersebut. Perlu diketahui jenis pelanggan sehingga memudahkan untuk tahap pengolahan data dan analisis.
- **Susut Energi Jaringan**
Pengetahuan mengenai susut-susut yang terjadi di jaringan juga sangat penting, sehingga dapat diperoleh formula dan pemodelan yang tepat untuk melakukan pengolahan data dan analisis data, jenis-jenis dari susut energi juga perlu untuk diketahui sehingga tidak ada kekeliruan dalam pembuatan model dan perhitungan.

3.3.2. Data PLN APJ Cempaka Putih

Selain data hasil dari studi literatur, perlu ada juga data yang didapat dari PLN APJ Cempaka Putih, hal ini karena sesuai tujuan 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, 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 area Cempaka Putih. Data aset ini didapat dari bagian Pemeliharaan PLN APJ Cempaka Putih.

b. Data Konsumsi Energi Listrik

Data konsumsi energi merupakan rekapitan 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 sepanjang 2011, 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 rumah tangga dengan golongan R1, R2, dan R3. Konsumsi pelanggan tersebut akan diolah sehingga didapatkan besar rugi-rugi 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 rugi-rugi 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 cakupan 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. 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 K 38N, K 33B, dan K 26. Berikut adalah spesifikasi dari jaringan tegangan rendah tersebut :

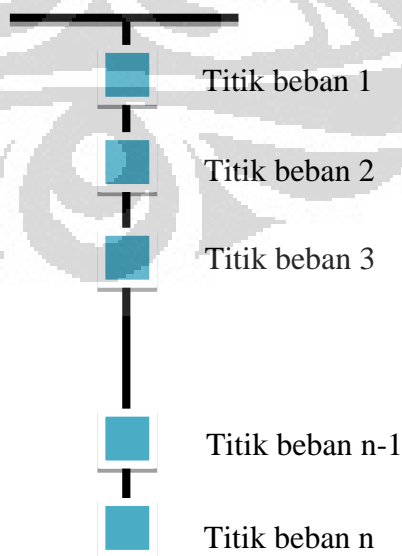
Tabel 3.1. Sampel Jaringan Tegangan Rendah

Penyulang	Gardu Distribusi	Kapasitas Gardu (kVA)	Jumlah Tiang	Panjang Jaringan (km)
Gelak	K 38N	400	53	2
Gelak	K 26	630	32	2,08
Gelak	K 33B	1000	59	3,04

Sumber : Data Aset PLN APJ Cempaka Putih

Jika digambarkan secara sederhana, maka jaringan-jaringan tersebut kira-kira seperti berikut :

Trafo Cempaka Putih



Gambar 3.2. Ilustrasi Sampel

3.4.2. Penghantar

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. Kemudian untuk suatu kabel, terdapat suatu nilai hambatan dalam yang bisa dipengaruhi oleh suhu, dengan persamaan berikut sesuai 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)

Kemudian setelah didapat nilai resistansi tersebut, bisa dicari rugi-rugi kabel sesuai dengan persamaan 2.1 sehingga bisa dianalisis lebih jauh.

3.4.3. Pelanggan dalam Jaringan Tegangan Rendah

Pelanggan 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 rumah tangga, dengan kapasitas beban R1, R2, dan R3. Untuk lebih jelas kapasitas masing-masing pelanggan adalah sebagai berikut :

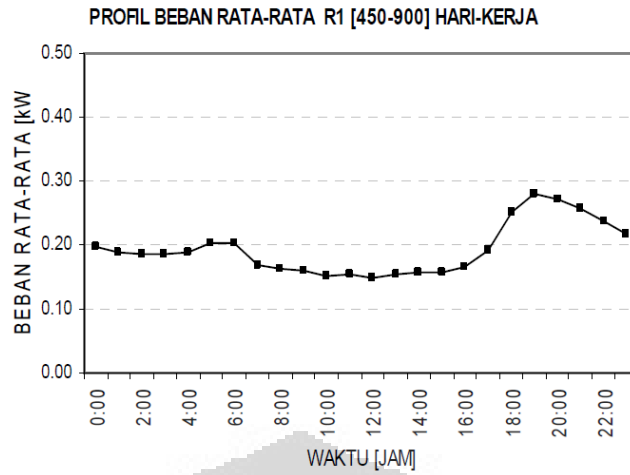
Tabel 3.2. Tipe Pelanggan PLN

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*

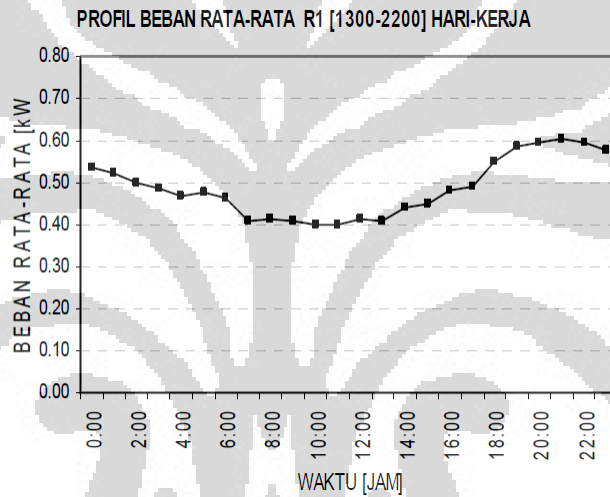
Analisis rugi-rugi daya yang dilakukan adalah pada jaringan tegangan rendah, sehingga sampel pelanggan yang akan diambil adalah pelanggan residensial. Setiap pelanggan tersebut memiliki karakteristik penggunaan listrik yang berbeda-beda, kemudian dari kelas-kelas pelanggan ini akan dianalisis profil beban mereka sehingga bisa diketahui tingkat susut akibat kecenderungan 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. Berikut adalah profil beban pelanggan residensial :



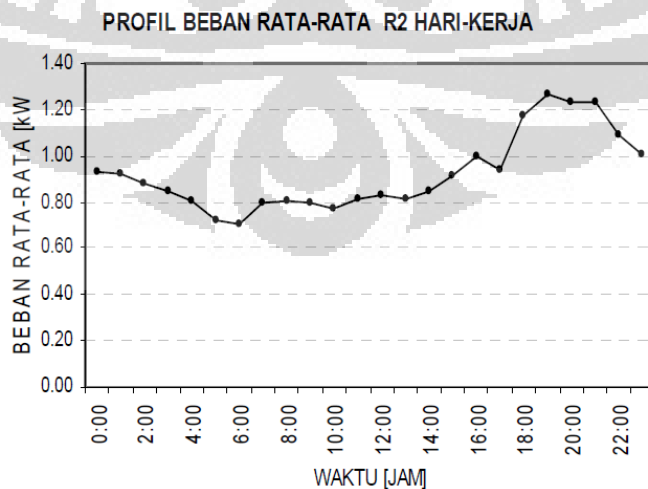
Grafik 3.1. Profil Beban Pelanggan R1 (450-900 VA)

Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007



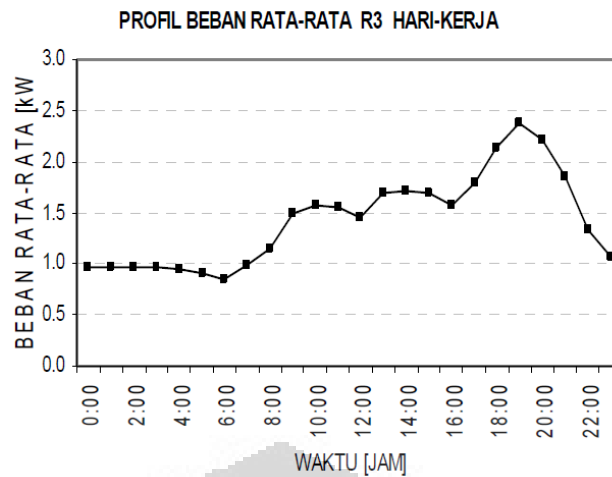
Grafik 3.2. Profil Beban Pelanggan R1 (1300-2200 VA)

Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007



Grafik 3.3. Profil Beban Pelanggan R2 (3300-5500 VA)

Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007



**Grafik 3.4. Profil Beban Pelanggan R3
(>6600 VA)**

Sumber : *Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007*

Dapat dilihat kecenderungan konsumsi listrik para pelanggan residensial dengan kapasitas berbeda memiliki bentuk yang cukup berbeda. Terlihat bahwa untuk pelanggan residensial, hal yang umum dipakai adalah pada dini hari (01.00 – 06.00) pemakaian beban cenderung konstan dan cukup rendah, kemudian dari waktu kerja (07.00 – 17.00) pemakaian beban cenderung stabil juga, namun pada level pemakaian yang berbeda dengan dini hari, kemudian mencapai puncaknya pada malam hari (18.00 – 22.00).

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 rugi-rugi pada jaringan tegangan rendah. Pengolahan dilakukan dengan mencari parameter-parameter yang diperlukan untuk memperoleh rugi-rugi daya tersebut, berikut adalah parameter-parameter yang perlu dicari untuk analisis rugi pada jaringan tegangan rendah :

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

Kapasitas transformator yang biasa digunakan sesuai dengan data aset PLN APJ Cempaka Putih adalah 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA, sehingga dari kapasitas transformator tersebut dapat diketahui arus maksimal pada transformator tersebut, yaitu menggunakan :

$$I_{max} = \text{jumlah trafo} \times \frac{S_{trafo}}{3 \times V_{phasa} \times pf} \quad (3.3)$$

Kemudian untuk arus yang masuk ke titik beban juga dapat diketahui, dengan menggunakan asumsi jarak antar tiang sama dan besar beban yang ada di tiap-tiap titik beban sama, maka dapat diketahui besar arus yang masuk ke setiap titik beban tersebut,

$$I_{tiang} = \frac{I_{max}}{\text{jumlah titik beban}} \quad (3.4)$$

Kemudian untuk mengetahui besar impedansi jaringan, digunakan asumsi bahwa jarak antar tiang sama, sehingga dapat diketahui besar impedansi pada saluran antar tiang,

$$R_{saluran} = R_{kabel} \times \text{panjang saluran} \quad (3.5)$$

Sehingga dapat diketahui besar rugi-rugi daya tiap saluran dengan menggunakan persamaan 2.3. Kemudian setelah didapat besar rugi-rugi daya pada jaringan tegangan rendah, maka dapat dicari besar efisiensi saluran tersebut untuk kemudian dianalisis.

Sementara persen pembebanan dapat diketahui dari data pelanggan dan profil beban. Persamaan untuk mencari persen pembebanan adalah :

$$\%_{\text{pembebanan}} = \frac{\text{konsumsi pada profil beban (Watt)} \times n \text{ pelanggan}}{\text{daya total pelanggan}} \quad (3.6)$$

Setelah itu dapat dicari arus pembebanan pada transformator, yaitu

$$I_{pembebanan} = \%_{pembebanan} \times I_{max} \quad (3.7)$$

Tahap selanjutnya adalah mencari nilai dari besar arus yang masuk di titik beban, bisa dikatakan sebagai arus yang masuk ke masing-masing tiang, ini merupakan hubungan antara arus pembebanan dengan jumlah tiang, dapat dicari dengan :

$$I_{tiang} = \frac{I_{pembebanan}}{\text{jumlah tiang}} \quad (3.8)$$

3.6. Analisis Data

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

Pelanggan yang berbeda dapat menghasilkan profil susut yang berbeda pula, sehingga akan dibuat simulasi dengan menggunakan berbagai macam komposisi 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 3.3. Variasi Pembebanan

No	R1 (450 VA – 900 VA)	R1 (1300 VA – 2200 VA)	R2 (2200 VA – 5500 VA)	R3 (6600 VA ke atas)
1	100 %	-	-	-
2	-	100 %	-	-
3	-	-	100 %	-
4	-	-	-	100 %
5	50 %	50 %	-	-
6	50 %	-	50 %	-
7	50 %	-	-	50 %
8	-	50 %	50 %	-
9	-	50 %	-	50 %
10	-	-	50 %	50 %
11	40 %	-	30 %	30 %
12	-	40 %	30 %	30 %
13	70 %	-	30 %	-
14	-	70 %	30 %	-
15	70 %	-	-	30 %
16	-	70 %	-	30 %
17	25 %	25 %	25 %	25 %

Tabel di atas menunjukkan komposisi yang akan dilakukan untuk melakukan analisis pada jaringan tegangan rendah, terdapat empat jenis beban yang terpasang, yaitu pelanggan R1 dengan daya 450 VA – 900 VA, lalu R1 dengan daya 1300 VA – 2200 VA, kemudian R2 dengan daya 2200 VA – 5500 VA, dan R3 dengan daya 6600 VA ke atas.

Untuk awalan, akan dianalisis pengaruh besar susut untuk beban 100 %, dengan harapan dapat dilihat besar susut sebenarnya dari masing-masing pelanggan. Kemudian dilanjutkan dengan pembebanan dengan bobot 50-50 tiap dua buah komposisi, setelah itu diadakan simulasi besar susut dengan besar pembebanan lebih dititikberatkan pada salah satu pelanggan, ataupun terdapat

komposisi tiga pelanggan sekaligus, terakhir dibuat simulasi untuk mencari besar rugi-rugi daya untuk pelanggan dengan jumlah merata.

Variasi pembebanan digunakan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi energi listrik yang disesuaikan dengan beban masing-masing pelanggan. Suatu jaringan dengan pembebanan yang berbeda akan memunculkan nilai rugi-rugi 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 Puih pada nilai maksimal, dicari dengan persamaan 3.3, sehingga nilai yang didapatkan untuk transformator dengan kapasitas 400 kVA adalah:

$$I_{max} = \frac{400.000 \text{ VA}}{3 \times 220 \text{ Volt} \times 0.85}$$

$$I_{max} = 257575,75 \text{ Ampere}$$

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. Kemudian menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 juga resistansi dalam kabel penghantar memiliki nilai 0,443 Ω/km, sehingga bisa didapatkan besar resistansi dalam satu jaringan tegangan rendah. Sampel yang diambil adalah jaringan yang dilayani oleh gardu K 38N yang memiliki panjang 2 km dan jumlah tiang 53. Dengan asumsi jarak antar tiang sama, maka dapat diketahui besar resistansi saluran antar tiang

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

$$R_{saluran} = 0,443 \frac{\Omega}{km} \times 2 \text{ km}$$

$$R_{saluran} = 0,886 \Omega$$

Kemudian dapat diketahui besar resistansi saluran antar tiang :

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

$$R_{antar\ tiang} = \frac{0,886 \Omega}{53}$$

$$R_{antar\ tiang} = 0,0167 \Omega$$

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 (%)
R1 (450-900 VA)	37981230	61945	36,57%
R1 (1300-2200 VA)	121920940	90049	53,16%
R2 (3300-5500 VA)	49086140	13689	8,1%
R3 (>6600 VA)	38573170	3711	2,17%

Sumber : Laporan Bulanan Transaksi Energi PLN APJ Cempaka Putih

Sehingga contoh pembebanan dapat diambil sebagai berikut dengan menggunakan persamaan 3.6:

Untuk pelanggan R1 (450-900 VA) pada pukul 00.00

$$\%_{pembebanan} = \frac{0,19 \text{ Watt} \times 61945}{37981230 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$\%_{pembebanan} = 27,77 \%$$

Nilai 0,19 berasal dari pemakaian pelanggan R1 pada pukul 01.00 menurut kurva beban yang telah diberikan, sementara nilai 61945 merupakan jumlah pelanggan R1 pada satu jaringan Cempaka Putih, dan nilai 37981230 Watt merupakan besar daya terpasang untuk pelanggan R1 dalam satuan Watt di jaringan Cempaka Putih

4.1.4. Arus Pembebanan

Arus pembebanan merupakan parameter yang menunjukkan berapa besar arus yang dikeluarkan oleh transformator pada waktu tertentu akibat pembebanan oleh pelanggan. Diambil sampel pembebanan akibat pelanggan R1 (450-900 VA) pada jam 01.00, persamaan yang digunakan adalah persamaan 3.7.

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

$$I_{pembebanan} = 27,77 \% \times 103030,3 \text{ A}$$

$$I_{pembebanan} = 28539,39 \text{ A}$$

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 R1 (450-900 VA) di jam 01.00

$$I_{tiang} = \frac{I_{pembebanan}}{\text{jumlah tiang}}$$

$$I_{tiang} = \frac{28539,39 \text{ A}}{53}$$

$$I_{tiang} = 538,479 \text{ A}$$

Sehingga arus yang masuk ke titik beban sebesar 538,479 A.

4.1.6. Susut pada Jaringan Tegangan Rendah

Setelah didapat arus yang masuk pada titik beban, dapat dicari susut dari jaringan tegangan rendah, persamaan yang digunakan adalah (2.3). Berikut adalah sampel besar susut pada jaringan tegangan rendah untuk pelanggan R1 (450-900 VA) pada jam 00.00

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

$$P_{3fasa} = 3 \times 53 \times 538,479^2 \times 0,0167 \Omega \times 0,85$$

$$P_{3fasa} = 655,106 \text{ kW}$$

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 R1 (450-900 VA) pada pukul 01.00:

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

$$P_{in} = 3 \times 220 \text{ V} \times 28539,39 \text{ A} \times 0,85$$

$$P_{in} = 16010,6 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{out} = 16010,6 \text{ kW} - 655,106 \text{ kW}$$

$$P_{out} = 15355,49 \text{ kW}$$

Lalu setelah itu mencari efisiensi pada jaringan tegangan rendah tersebut

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

$$\varepsilon = \frac{15355,49 \text{ W}}{16010,6 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 95,9 \%$$

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 residensial, baik itu untuk satu jenis pelanggan, ataupun apabila ada komposisi antara pelanggan residensial tersebut. Sebagai awalan akan diperlihatkan bagaimana susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah di Cempaka Putih, dengan komposisi pelanggan mendekati kondisi nyata, yaitu 36,57% pelanggan R1 450-900 VA, 53,16% pelanggan R1 1300-2200 VA, 8,1% pelanggan R2, dan 2,17% pelanggan R3.

Tabel 4.2. Tabel Susut dan Efisiensi kondisi real Cempaka Putih

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	763.7150917	17023.17901	16259.46391	95.51367526
1	1005.998469	19494.08203	18488.08356	94.83946734
2	920.7108602	18638.65018	17717.93932	95.06020634
3	904.6357489	18469.08083	17564.44508	95.10189079
4	873.2681307	18208.34299	17335.07486	95.20402196
5	921.3253568	18663.1998	17741.87444	95.0634116
6	897.4293626	18420.95521	17523.52585	95.12821484
7	646.6341314	15721.49794	15074.86381	95.88694326
8	646.3477707	15718.29961	15071.95184	95.88792817
9	625.1146707	15485.98164	14860.86697	95.96335134
10	591.6826746	15038.56296	14446.88029	96.06556374
11	604.9406367	15232.45193	14627.5113	96.0286063
12	615.2524398	15311.80707	14696.55463	95.98184305
13	615.9282882	15372.81337	14756.88508	95.99339253
14	682.1583691	16142.99385	15460.83548	95.77427598
15	722.0935449	16625.55656	15903.46301	95.65672558
16	871.0985165	18187.7846	17316.68609	95.21052984
17	966.854958	19278.81038	18311.95542	94.98488268
18	1407.386534	23325.48191	21918.09538	93.96631315
19	1590.955279	24800.55147	23209.59619	93.58500039
20	1556.884492	24528.09646	22971.21197	93.65264853
21	1535.953343	24301.53622	22765.58288	93.67960392
22	1404.880389	23141.47311	21736.59272	93.92916612
23	1289.229994	22071.0021	20781.77211	94.15871564
Total	22660.47905	449202.1912	426541.7122	
Rata-rata	944.1866271	18716.75797	17772.57134	95.09651576
max	1590.955279	24800.55147	23209.59619	96.06556374
min	591.6826746	15038.56296	14446.88029	93.58500039

4.2.1. Analisis Profil Susut dan Efisiensi Beban Satu Jenis 100 %

Pelanggan yang mungkin terpasang adalah R1 (450-900 VA), R1 (1300-2200 VA), R2 (3300-5500 VA), dan R3 (>6600 VA). Berikut adalah tabel dari nilai susut, daya masuk, daya keluar, dan efisien pada rentang waktu selama satu hari.

Tabel 4.3. Pelanggan R1 (450-900 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	655.1061184	16010.6	15355.49388	95.90829751
1	819.8488351	17910.95207	17091.10323	95.42263956
2	735.8200071	16968.27038	16232.45037	95.66355326
3	735.8200071	16968.27038	16232.45037	95.66355326
4	819.8488351	17910.95207	17091.10323	95.42263956
5	908.4197618	18853.63376	17945.21399	95.18172585
6	908.4197618	18853.63376	17945.21399	95.18172585
7	581.3886476	15082.907	14501.51836	96.14538068
8	545.6196195	14611.56616	14065.94654	96.26583753
9	510.986116	14140.22532	13629.2392	96.38629439
10	445.1256833	13197.54363	12752.41795	96.62720809
11	477.4881373	13668.88447	13191.39634	96.50675124
12	477.4881373	13668.88447	13191.39634	96.50675124
13	477.4881373	13668.88447	13191.39634	96.50675124
14	510.986116	14140.22532	13629.2392	96.38629439
15	545.6196195	14611.56616	14065.94654	96.26583753
16	618.2932004	15554.24785	14935.95465	96.02492383
17	863.5665361	18382.29291	17518.72638	95.3021827
18	1535.229398	24509.72388	22974.49448	93.7362436
19	1780.502733	26395.08726	24614.58452	93.25441619
20	1655.595016	25452.40557	23796.81055	93.4953299
21	1535.229398	24509.72388	22974.49448	93.7362436
22	1308.124457	22624.36051	21316.23605	94.21807102
23	1099.187912	20738.99713	19639.80922	94.69989843
Total	20551.20219	428433.8384	407882.6362	
Rata-rata	856.3000912	17851.40993	16995.10984	95.43785627
max	1780.502733	26395.08726	24614.58452	96.62720809
min	445.1256833	13197.54363	12752.41795	93.25441619

Tabel 4.4. Tabel Pelanggan R1 (1300-2200 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	935.4231313	19131.8	18196.37687	95.1106371
1	1259.389269	22198.91631	20939.52704	94.32679843
2	1164.376174	21345.11184	20180.73567	94.54499849
3	1142.12746	21140.19877	19998.07131	94.5973665
4	1030.594754	20081.48122	19050.88647	94.86793458
5	1073.089082	20491.30737	19418.21829	94.76319855
6	1030.594754	20081.48122	19050.88647	94.86793458
7	763.1928781	17281.00255	16517.80967	95.58363078
8	784.4549459	17520.0678	16735.61285	95.52253476
9	763.1928781	17281.00255	16517.80967	95.58363078
10	745.2007511	17076.08947	16330.88872	95.63599879
11	745.2007511	17076.08947	16330.88872	95.63599879
12	784.4549459	17520.0678	16735.61285	95.52253476
13	763.1928781	17281.00255	16517.80967	95.58363078
14	862.7755448	18373.87227	17511.09673	95.3043347
15	901.6929089	18783.69842	17882.00551	95.19959867
16	1120.093364	20935.28569	19815.19233	94.64973452
17	1142.12746	21140.19877	19998.07131	94.5973665
18	1460.593472	23906.52526	22445.93179	93.89039831
19	1623.476472	25204.30806	23580.83159	93.55873421
20	1649.981772	25409.22113	23759.23936	93.5063662
21	1703.636226	25819.04728	24115.41106	93.40163017
22	1649.981772	25409.22113	23759.23936	93.5063662
23	1592.824874	24965.24281	23372.41793	93.61983023
Total	26691.66852	495452.2397	468760.5712	
Rata-rata	1112.152855	20643.84332	19531.69047	94.72421614
max	1703.636226	25819.04728	24115.41106	95.63599879
min	745.2007511	17076.08947	16330.88872	93.40163017

Tabel 4.5. Tabel Pelanggan R2 (3300-5500 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	420.7828844	12831.6	12410.81712	96.72072941
1	580.7467624	15074.57852	14493.83176	96.14750912
2	514.9145492	14194.47589	13679.56134	96.37243
3	457.6603191	13382.07345	12924.41313	96.58004927
4	424.3322976	12885.60529	12461.273	96.70692771
5	343.842939	11599.30144	11255.4585	97.03565822
6	325.3672832	11283.36716	10957.99987	97.11639904
7	422.8473213	12863.03856	12440.19124	96.71269491
8	424.3322976	12885.60529	12461.273	96.70692771
9	424.3322976	12885.60529	12461.273	96.70692771
10	413.9921253	12727.63815	12313.64603	96.74729812
11	436.3058136	13066.13917	12629.83336	96.66079009
12	457.6603191	13382.07345	12924.41313	96.58004927
13	436.3058136	13066.13917	12629.83336	96.66079009
14	457.6603191	13382.07345	12924.41313	96.58004927
15	549.8707087	14668.37731	14118.5066	96.25131876
16	663.4837581	16112.6483	15449.16454	95.88221783
17	585.9747639	15142.27873	14556.30396	96.13020752
18	940.3114486	19181.72417	18241.41272	95.09787837
19	1021.648063	19994.1266	18972.47854	94.89025911
20	1005.568412	19836.15946	18830.59105	94.93062952
21	1005.568412	19836.15946	18830.59105	94.93062952
22	773.6466129	17398.95216	16625.30555	95.55348733
23	663.4837581	16112.6483	15449.16454	95.88221783
Total	13750.63928	353792.3888	340041.7495	
Rata-rata	572.9433034	14741.34953	14168.40623	96.23266982
Max	1021.648063	19994.1266	18972.47854	97.11639904
Min	325.3672832	11283.36716	10957.99987	94.89025911

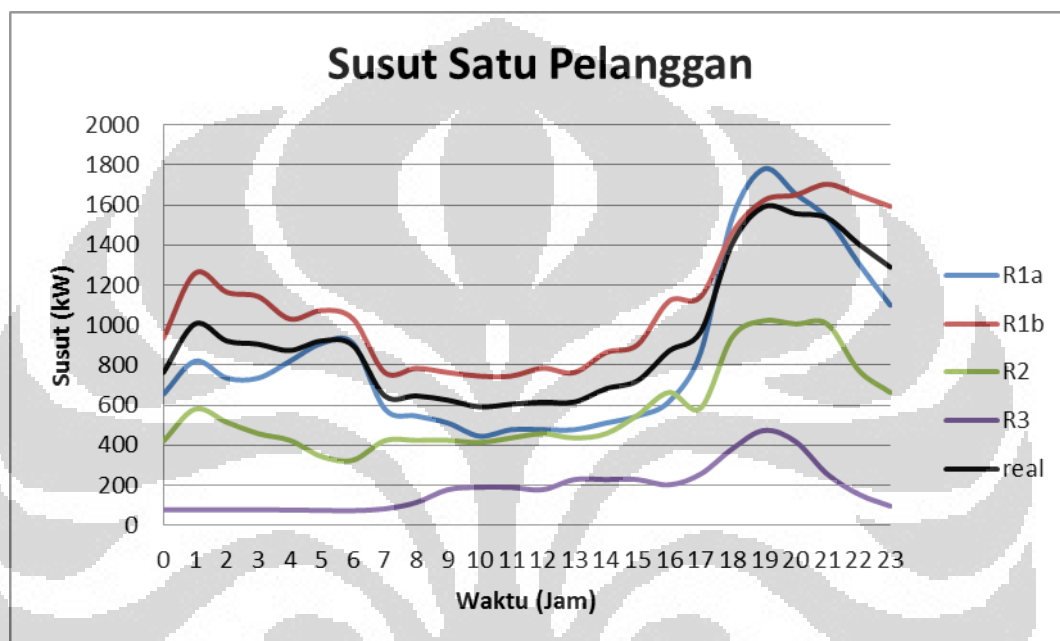
Tabel 4.6. Tabel Pelanggan R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	77.45219902	5505.143653	5427.691454	98.59309395
1	77.45219902	5505.143653	5427.691454	98.59309395
2	77.45219902	5505.143653	5427.691454	98.59309395
3	77.45219902	5505.143653	5427.691454	98.59309395
4	76.05037823	5455.096892	5379.046514	98.60588401
5	74.20119809	5388.367879	5314.16668	98.62293741
6	72.82924867	5338.321118	5265.491869	98.63572747
7	82.217394	5671.966188	5589.748794	98.55046044
8	113.795701	6672.901398	6559.105696	98.29465934
9	177.8057829	8341.126747	8163.320964	97.86832417
10	190.1021196	8624.725056	8434.622937	97.79584719
11	189.3674261	8608.042803	8418.675377	97.80011054
12	177.8057829	8341.126747	8163.320964	97.86832417
13	228.6504133	9458.837731	9230.187318	97.58267961
14	228.6504133	9458.837731	9230.187318	97.58267961
15	228.6504133	9458.837731	9230.187318	97.58267961
16	202.0506682	8891.641112	8689.590444	97.72763356
17	256.0403273	10009.3521	9753.311769	97.441989
18	382.1323651	12228.09181	11845.95945	96.87496323
19	473.5721895	13612.71885	13139.14666	96.52110504
20	418.4047448	12795.28843	12376.88368	96.73000928
21	256.0403273	10009.3521	9753.311769	97.441989
22	155.1099415	7790.612382	7635.50244	98.00901477
23	95.79393236	6122.387032	6026.5931	98.43534994
Total	4389.079564	194298.2064	189909.1269	
Rata-rata	182.8783152	8095.758602	7912.880287	97.93103097
max	473.5721895	13612.71885	13139.14666	98.63572747
min	72.82924867	5338.321118	5265.491869	96.52110504

Dari tabel-tabel di atas dapat dilihat bahwa konsumsi energi harian, paling besar berada pada pelanggan R1 dengan daya 1300-2200 VA, dimana nilai untuk konsumsi energi yang masuk mencapai 428433.8384 kWh dengan susut di jaringan sebesar 20551.20219 kWh sehingga daya yang masuk ke tiang atau dalam hal ini diasumsikan rumah adalah 407882.6362 kWh. Sementara konsumsi energi yang masuk ke jaringan tegangan rendah paling kecil dimiliki oleh jaringan

dengan jenis pelanggan R3 yang bernilai 194298.2064 kWh dengan susut 4389.0796 kWh dan konsumsi energi pada tiang adalah 189909.1269 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

Pada grafik di atas, warna biru menunjukkan profil susut untuk pelanggan R1 dengan daya 450-900 VA, warna merah untuk menunjukkan profil susut pelanggan R1 dengan daya 1300-2200 VA, warna hijau untuk menunjukkan susut pelanggan R2 dengan daya 3300-5500 VA, sementara warna ungu menunjukkan profil susut untuk pelanggan R3 dengan daya 6600 VA ke atas, warna hitam untuk kondisi real.

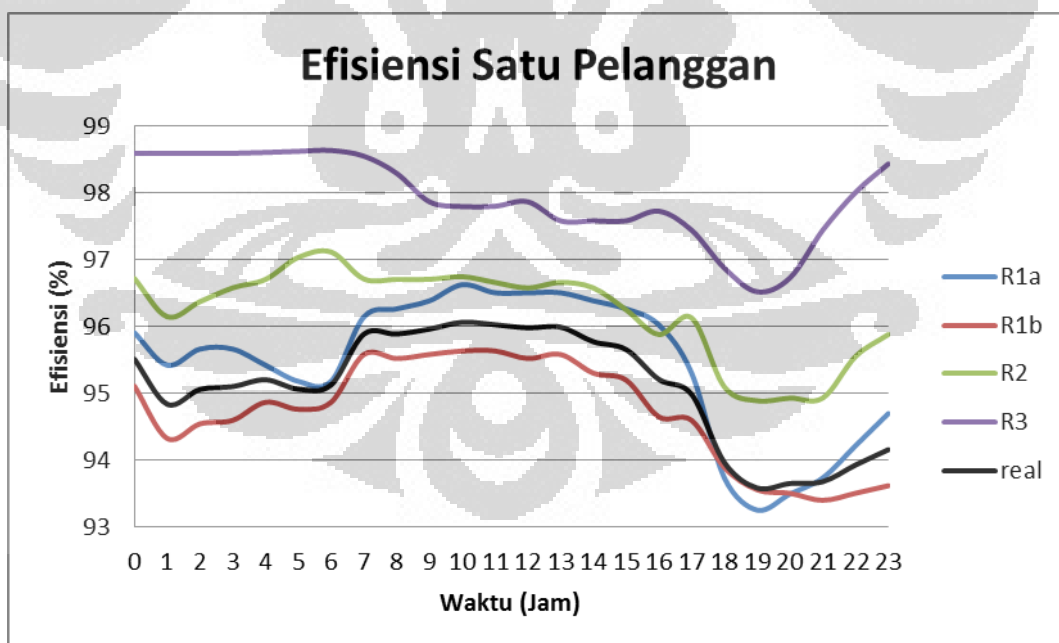
Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa untuk pelanggan R1 baik untuk daya 450-900 VA dan 1300-2200 VA akan memiliki nilai susut yang lebih besar, dibandingkan dengan pelanggan R2 dan R3 di waktu yang sama. Kemudian hal bisa diperhatikan lagi adalah untuk pelanggan R1 untuk daya 450-900 VA dan 1300-2200 VA, akan ada penurunan susut dari pukul 07.00 sampai pukul 14.00, sementara pada pelanggan R2 dan R3 kecenderungan tersebut tidak ada, bahkan cenderung meningkat dibanding pada waktu-waktu tidur malam untuk pelanggan

R2 dan R3. Hal ini bisa terjadi karena pelanggan R2 dan R3 umumnya memiliki pembantu rumah tangga, sehingga konsumsi listrik pada waktu-waktu tersebut cenderung tetap, berbeda dengan pelanggan R1 yang sangat sedikit menggunakan jasa pembantu rumah, dan rumah mereka cenderung dibiarkan kosong dalam keadaan mematikan listrik untuk waktu-waktu tersebut.

Kemudian untuk waktu beban puncak, yaitu pada pukul 18.00-22.00, susut yang terjadi tinggi, tanpa terkecuali untuk semua pelanggan. Hal ini terjadi karena pada waktu-waktu tersebut pemakaian listrik tinggi, di saat semua penghuni rumah sudah kembali ke rumah, mereka pun menggunakan alat-alat kelistrikan mereka, sehingga permintaan akan listrik meningkat dan menyebabkan arus yang masuk ke jaringan pun meningkat, sehingga susut pada jaringan tegangan rendah pun meningkat.

Kemudian jika dilihat perbandingan antara susut dengan pelanggan yang dilayani, maka dapat dilihat bahwa susut terbesar dimiliki oleh pelanggan R1 dengan daya 1300-2200 VA, dan paling rendah dimiliki pelanggan daya R3.

Setelah melihat profil susut pada jaringan tegangan rendah, akan dilihat bagaimana efisiensi pada jaringan tegangan rendah tersebut



Grafik 4.2. Efisiensi Jaringan Untuk Satu Jenis Pelanggan

Grafik 4.2. menunjukkan bagaimana efisiensi suatu saluran tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi satu jenis beban saja. Warna biru menunjukkan besar efisiensi jaringan yang melayani pelanggan R1 berdaya 450-900 VA, warna merah menunjukkan jaringan dengan pelanggan R1 berdaya 1300-2200 VA, warna hijau untuk jaringan dengan pelanggan R2 berdaya 3300-5500 VA, dan warna ungu sebagai petunjuk efisiensi untuk jaringan dengan pelanggan R3 berdaya 6600 VA ke atas. Terlihat bahwa grafik ini merupakan kebalikan dari grafik susut pada jaringan, apabila susut kecil, maka efisiensi jaringan akan meningkat, dan begitu juga sebaliknya apabila susut besar, maka efisiensi jaringan akan bernilai rendah.

Dari grafik terlihat bahwa efisiensi jaringan tertinggi dimiliki oleh pelanggan R3, dengan nilai terbesar efisiensi berada pada nilai 98.64% pada jam 06.00, rata-rata pada nilai 97.93%, dan nilai terendah pada 96.52% pada jam 19.00. Kemudian nilai efisiensi jaringan kedua adalah untuk jaringan dengan pelanggan R2, dimana nilai tertinggi efisiensi adalah 97.12% pada jam 06.00, rata-rata bernilai 96.23%, dan efisiensi terendah adalah 94.89% pada jam 19.00. Setelah itu adalah jaringan dengan pelanggan R1 berdaya 450-900 VA dengan efisiensi terbesar pada 96.63% pada pukul 10.00, rata-rata 95.44%, dan efisiensi terendah mencapai 93.25% pada pukul 19.00. Lalu jaringan dengan efisiensi paling rendah adalah jaringan dengan beban jenis R1 berdaya 1300-2200 VA, 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 50%-50%. Komposisi yang dilakukan adalah pelanggan R1 berdaya 450-900 VA dengan R2 berdaya 3300-5500 VA, pelanggan R1 berdaya 450-900 VA dengan R3 berdaya 6600 VA ke atas, pelanggan R1 1300-2200 VA dengan R2, R1 1300-2200 VA dengan R3, lalu R1 450-900 VA

dengan R1 1300-2200 VA, kemudian terakhir adalah komposisi R2 dengan R3, yang akan dibandingkan dengan kondisi real. Berikut akan ditampilkan terlebih dahulu tabel perhitungan dari komposisi-komposisi tersebut.

Tabel 4.7. Komposisi R1 (450-900 VA) dan R2 (3300-5500 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	540.155098	14451.09057	13910.93547	96.26218454
1	702.5534787	16519.52354	15816.97006	95.74713231
2	627.4512919	15607.54101	14980.08971	95.97981968
3	599.3643111	15209.00396	14609.63965	96.05914817
4	625.8218544	15445.68761	14819.86576	95.94824219
5	631.4575469	15294.90469	14663.44715	95.87145157
6	622.3940176	15139.91807	14517.52405	95.88905293
7	503.6136573	13993.91494	13490.30128	96.40119538
8	486.1201785	13764.86838	13278.7482	96.46839937
9	468.4766957	13524.75134	13056.27465	96.53615299
10	429.8526171	12967.02396	12537.17135	96.6850326
11	457.2854879	13373.1981	12915.91261	96.58058241
12	451.2747499	13288.06769	12836.79294	96.60390991
13	457.2854879	13373.1981	12915.91261	96.58058241
14	484.8262911	13768.30176	13283.47547	96.47867762
15	547.7050594	14639.43578	14091.73072	96.25870103
16	640.4621532	15828.18015	15187.71799	95.95365893
17	727.3894403	16792.85199	16065.46255	95.66845798
18	1243.382857	21895.98817	20652.60532	94.32141246
19	1408.234405	23254.99335	21846.75895	93.94437838
20	1336.714041	22697.26597	21360.55193	94.11068257
21	1275.395707	22217.0319	20941.6362	94.25937852
22	1045.927779	20060.95264	19015.02486	94.78625069
23	885.4462515	18469.46752	17584.02127	95.20589183
Total	17198.59046	391577.1612	374378.5707	
Rata-rata	716.6079357	16315.71505	15599.10711	95.77501569
max	1408.234405	23254.99335	21846.75895	96.6850326
min	429.8526171	12967.02396	12537.17135	93.94437838

Tabel 4.8. Komposisi R1 (450-900 VA) dan R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	371.728724	10856.97991	10485.25118	96.57613142
1	455.6542589	11825.08379	11369.42953	96.14671433
2	412.8471201	11344.84972	10932.0026	96.36092914
3	412.8471201	11344.84972	10932.0026	96.36092914
4	454.9665732	11800.53255	11345.56597	96.14452508
5	499.1804664	12248.03163	11748.85116	95.92440254
6	498.5074346	12223.48039	11724.97295	95.92172263
7	336.5121836	10466.21906	10129.70687	96.78477794
8	333.7814708	10717.12684	10383.34537	96.88553214
9	347.5391601	11295.38451	10947.84535	96.92317548
10	320.0197841	10954.27414	10634.25436	97.07858522
11	336.1459016	11186.20743	10850.06153	96.99499671
12	313.9876189	10815.15044	10501.16282	97.09677992
13	355.416801	11603.57852	11248.16172	96.93700697
14	372.481809	11843.69556	11471.21375	96.8550204
15	390.1252919	12083.81259	11693.6873	96.77150495
16	414.0987507	12285.79926	11871.70051	96.62945209
17	565.5348111	14274.81251	13709.2777	96.038233
18	969.5591552	18484.7723	17515.21314	94.7548223
19	1139.366995	20124.49144	18985.12444	94.33840602
20	1048.671487	19243.25377	18194.58228	94.5504461
21	907.7026839	17396.33395	16488.63127	94.78221856
22	742.4946947	15347.42746	14604.93277	95.16209022
23	606.956903	13568.58463	12961.62773	95.52674859
Total	12606.1272	313334.7321	300728.6049	
Rata-rata	525.2552999	13055.61384	12530.35854	96.14771462
max	1139.366995	20124.49144	18985.12444	97.09677992
min	313.9876189	10466.21906	10129.70687	94.33840602

Tabel 4.9. Komposisi R1 (1300-2200 VA) dan R2 (3300-5500 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	682.9581045	16041.13585	15358.17774	95.74245795
1	926.4703037	18703.95815	17777.48785	95.0466618
2	845.7723579	17837.25269	16991.48033	95.25839336
3	806.3511267	17334.32597	16527.97484	95.34824066
4	733.1829829	16551.42888	15818.2459	95.57027379
5	715.3456909	16129.19125	15413.84556	95.56490044
6	684.634108	15765.42526	15080.79116	95.65736987
7	596.2309068	15113.69946	14517.46855	96.05503002
8	607.7910052	15246.55789	14638.76689	96.01358543
9	596.9593857	15124.76993	14527.81055	96.05310105
10	582.7210479	14942.88694	14360.16589	96.10034493
11	593.6673855	15108.94404	14515.27666	96.07075528
12	624.1406007	15490.10831	14865.96771	95.97071506
13	602.8331861	15213.33372	14610.50053	96.0374682
14	664.0397737	15925.0653	15261.02553	95.8302226
15	729.1008861	16764.86165	16035.76076	95.65101758
16	896.0961989	18569.46358	17673.36738	95.17435603
17	869.2978355	18197.8229	17328.52506	95.22306685
18	1205.360781	21588.69831	20383.33753	94.41670468
19	1328.239894	22648.36999	21320.13009	94.13538416
20	1333.854463	22675.26635	21341.41189	94.11757973
21	1361.187865	22884.04571	21522.85785	94.05180412
22	1220.081505	21479.65522	20259.57372	94.31982733
23	1136.921685	20622.4606	19485.53891	94.48697366
Total	20343.23908	425958.728	405615.4889	
Rata-rata	847.6349617	17748.28033	16900.64537	95.32900977
max	1361.187865	22884.04571	21522.85785	96.10034493
min	582.7210479	14942.88694	14360.16589	94.05180412

Tabel 4.10. Komposisi Pelanggan R1 (1300-2200 VA) dan R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	514.5317305	12447.02519	11932.49346	95.86622729
1	679.5710839	14009.5184	13329.94732	95.14921881
2	631.1681861	13574.56141	12943.39322	95.35036038
3	619.8339357	13470.17173	12850.33779	95.39847043
4	562.3277017	12906.27381	12343.94611	95.64298953
5	583.0686104	13082.31818	12499.24957	95.54307882
6	560.747525	12848.98758	12288.24006	95.63586219
7	429.129433	11586.00358	11156.87414	96.2961393
8	455.4522975	12198.81636	11743.36406	96.26642222
9	476.0218502	12895.4031	12419.38125	96.30859271
10	472.8882149	12930.13712	12457.2489	96.342744
11	472.5277992	12921.95337	12449.42557	96.34321696
12	486.8534697	13017.19106	12530.33759	96.25991915
13	500.9644991	13443.71415	12942.74965	96.27361536
14	551.6952916	14000.4591	13448.76381	96.05944857
15	571.5211186	14209.23846	13637.71734	95.9778202
16	669.7327964	15027.08269	14357.34989	95.54316157
17	707.4432062	15679.78342	14972.34021	95.48818254
18	931.53708	18177.48244	17245.94536	94.875324
19	1059.372484	19517.86807	18458.49559	94.57229406
20	1045.81191	19221.25415	18175.44224	94.55908599
21	993.4948417	18063.34776	17069.85292	94.49994068
22	916.6484211	16766.13005	15849.48163	94.53273702
23	858.4323367	15721.57771	14863.14537	94.5397825
Total	15750.77582	347716.2989	331965.5231	
Rata-rata	656.282326	14488.17912	13831.89679	95.55519309
max	1059.372484	19517.86807	18458.49559	96.34321696
min	429.129433	11586.00358	11156.87414	94.49994068

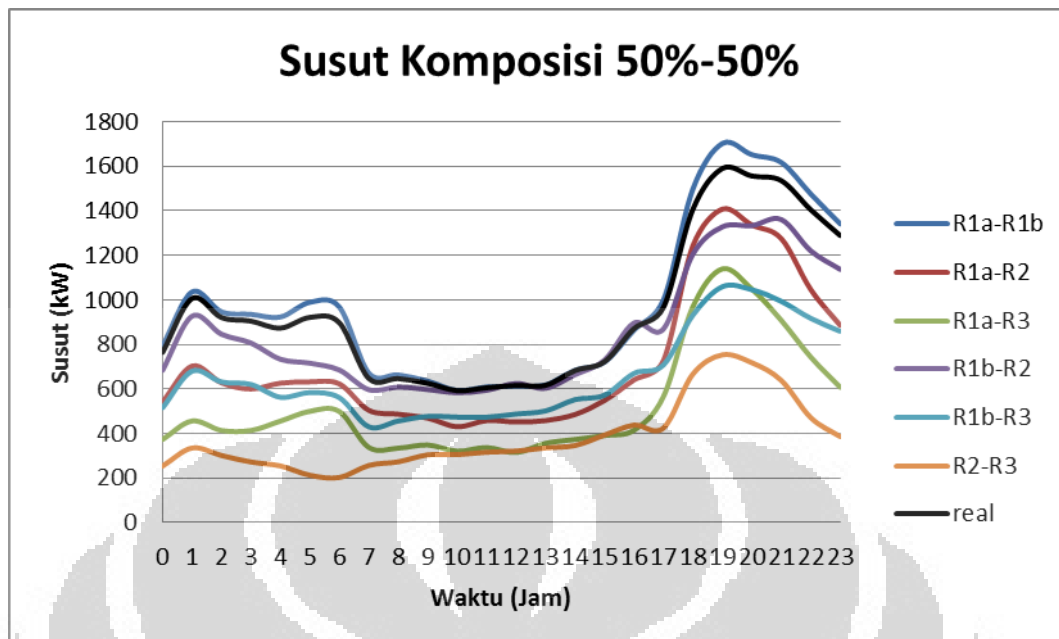
Tabel 4.11. Komposisi Pelanggan R1 (450-900) dan R1 (1300-2200 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	792.6201247	17541.75472	16749.13459	95.48152316
1	1035.472444	20014.4817	18979.00925	94.82638392
2	946.0551077	19115.40015	18169.34505	95.05082237
3	935.1406444	19014.87676	18079.73611	95.08205782
4	923.2336255	18975.73995	18052.50633	95.13466338
5	989.2009376	19657.02081	18667.81987	94.96769654
6	968.3546636	19455.97402	18487.61936	95.02284151
7	670.5756286	16161.21802	15490.6424	95.85071108
8	662.7841192	16038.37828	15375.59417	95.86751162
9	634.710188	15680.98396	15046.27377	95.95235739
10	592.3323203	15100.2265	14507.89418	96.07732824
11	608.8188535	15340.34353	14731.52468	96.03125672
12	611.5890951	15318.02718	14706.43809	96.00738993
13	617.6451799	15440.86692	14823.22174	95.99993198
14	683.5620622	16217.10873	15533.54667	95.78493261
15	720.2970822	16658.27255	15937.97547	95.67603976
16	864.4593185	18194.00226	17329.54294	95.24865774
17	1000.219065	19735.22786	18735.00879	94.93180889
18	1498.615547	24213.81512	22715.19958	93.81090696
19	1703.470982	25810.93143	24107.46044	93.40019562
20	1652.841349	25431.22075	23778.3794	93.50073925
21	1617.844068	25152.03347	23534.18941	93.56774048
22	1475.828045	23990.51855	22514.69051	93.84828618
23	1341.349441	22812.24973	21470.90029	94.12004753
Total	23547.01989	461070.673	437523.6531	
Rata-rata	981.1258289	19211.27804	18230.15221	95.05174294
max	1703.470982	25810.93143	24107.46044	96.07732824
min	592.3323203	15100.2265	14507.89418	93.40019562

Tabel 4.12. Komposisi Pelanggan R2 (3300-5500 VA) dan R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	252.3565105	9237.489339	8985.132829	97.26812664
1	333.8475426	10380.13878	10046.29123	96.78378536
2	300.3103774	9931.784601	9631.474224	96.97626973
3	271.1431281	9517.91921	9246.776082	97.15123524
4	253.4770164	9240.450229	8986.973213	97.25687591
5	211.5658586	8552.428371	8340.862513	97.52624811
6	201.4807002	8366.929478	8165.448778	97.59193978
7	255.7458475	9335.34268	9079.596832	97.26045571
8	271.9935898	9837.86376	9565.87017	97.23523728
9	303.3947621	10656.23846	10352.8437	97.15289065
10	304.1592923	10714.88833	10410.72904	97.1613396
11	315.1662273	10879.1485	10563.98227	97.10302486
12	320.3731881	10909.1562	10588.78301	97.06326335
13	334.4371267	11296.5196	10962.08247	97.03946756
14	345.315837	11457.46725	11112.15141	96.98610671
15	392.2909411	12112.75412	11720.46318	96.76133985
16	437.1203555	12570.26742	12133.14706	96.52258507
17	424.1201346	12624.23925	12200.11911	96.64043016
18	666.4877472	15770.5083	15104.02055	95.77383471
19	752.7806536	16863.62469	16110.84403	95.53606851
20	717.5258585	16382.14726	15664.6214	95.62007442
21	637.8753895	15015.46151	14377.58612	95.75187623
22	470.2135288	12685.42698	12215.21346	96.29327787
23	384.9944096	11211.76541	10826.77101	96.56615711
Total	9158.176023	275549.9597	266391.7837	
Rata-rata	381.5906676	11481.24832	11099.65765	96.7925796
max	752.7806536	16863.62469	16110.84403	97.59193978
min	201.4807002	8366.929478	8165.448778	95.53606851

Tabel-tabel di atas menunjukkan 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. Susut Komposisi Pelanggan 50%-50%

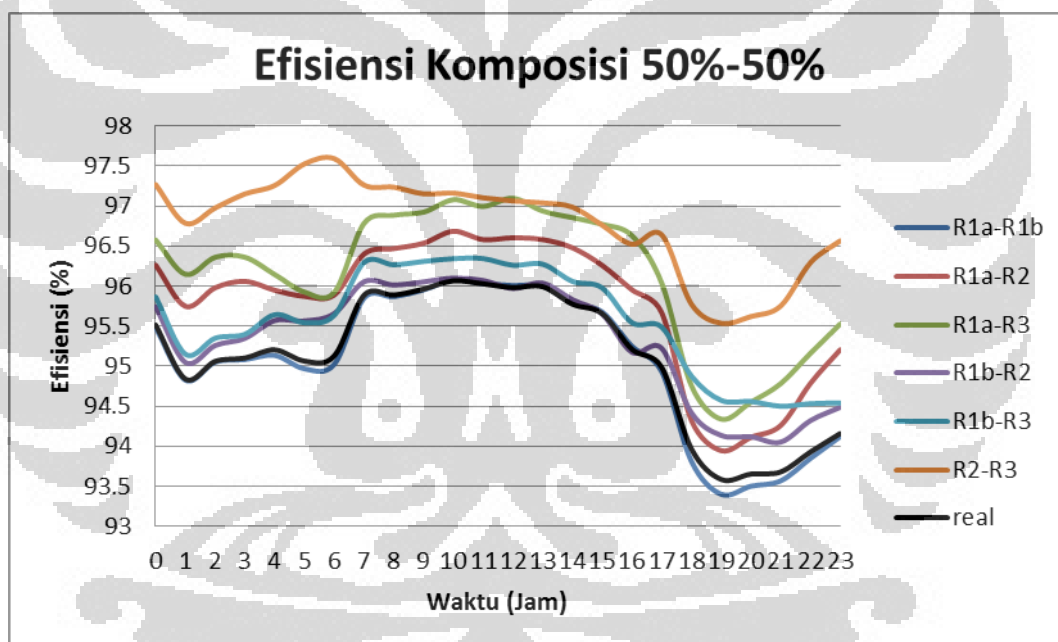
Grafi 4.3. menunjukkan karakteristik susut jaringan tegangan rendah dengan dua jenis pelanggan berbobot 50%-50%. Warna biru tua menunjukkan komposisi dari pelanggan R1 (450-900 VA) dan R1 (1300-2200 VA), warna merah menunjukkan komposisi dari pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2 (3300-5500 VA), warna hijau menunjukkan komposisi dari pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3, warna ungu menunjukkan komposisi dari pelanggan R1 (1300-2200 VA) dan R2, warna biru muda menunjukkan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dan R3, warna orange menunjukkan komposisi pelanggan R2 dan R3, sementara warna hitam menunjukkan kondisi real Cempaka Putih.

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa yang memberi komposisi susut terbesar adalah beban R1, baik itu bedaya 450-900 VA maupun 1300-2200 VA, sedangkan komposisi dari beban R2 dan R3 tidak terlalu signifikan. Secara bentuk, kecenderungan susut yang terjadi hampir mirip dengan profil beban, yaitu cenderung rendah di waktu-waktu istirahat, dan saat memasuki waktu beban puncak susut akan meningkat cukup tajam. Hal yang bisa diperhatikan juga adalah, pada waktu-waktu bekerja, yaitu pukul 07.00-15.00, dimana pelanggan R2 dan R3 cenderung meningkat dibanding waktu tidur malam dan pelanggan R1 cenderung turun dibanding waktu tidur malam, ternyata ketika dilakukan

penggabungan, ternyata komposisi susut dari R2 dan R3 masih jauh lebih sedikit dibanding komposisi susut dari beban R1.

Dari grafik dapat dilihat ternyata jaringan memiliki susut terbesar apabila jaringan berisi komposisi dari R1 (450-900 VA) dengan R1 (1300-2200 VA), dengan nilai mencapai 1703.47 kW pada pukul 19.00. Sementara susut terkecil berada pada komposisi R2 (3300-5500 VA) dengan R3 (>6600 VA) dengan nilai 201.48 kW pada pukul 06.00, kemudian rata-rata susut terbesar dimiliki oleh jaringan dengan komposisi R1 (450-900 VA) dengan R2 (1300-2200 VA), dan rata-rata susut terkecil dimiliki oleh jaringan dengan komposisi pelanggan R2 dan R3.

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



Grafik 4.4. Efisiensi Komposisi Pelanggan 50%-50%

Grafik 4.4. menunjukkan efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi komposisi dua pelanggan bobot 50%-50%. Warna biru menunjukkan efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R1 (1300-2200 VA), warna merah menunjukkan efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2 (3300-5500 VA), warna hijau menunjukkan efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3, sementara warna ungu menunjukkan efisiensi jaringan dengan

komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R2, warna biru muda menunjukkan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R3, warna orange menunjukkan komposisi pelanggan R2 dan R3, 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 R1 memberikan komposisi susut yang jauh lebih besar dibandingkan pelanggan R2 dan R3.

Dari grafik efisiensi terlihat bahwa jaringan yang memiliki efisiensi paling baik adalah jaringan dengan komposisi pelanggan R2 dan R3, dengan nilai efisiensi rata-rata 96.79%. Kemudian jaringan dengan efisiensi terendah adalah jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R1 (1300-2200 VA) dengan nilai efisiensi rata-rata 95.051%. Sementara untuk waktu-waktu tertentu, efisiensi terbesar dimiliki oleh jaringan dengan komposisi R2 dan R3, yaitu pada nilai 97.59% pada pukul 06.00, sementara efisiensi terendah dicapai oleh jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R1 (1300-2200 VA) dengan efisiensi 93.4% pada pukul 19.00.

4.2.3. Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Tiga Jenis Pelanggan Bobot 40%-30%-30%

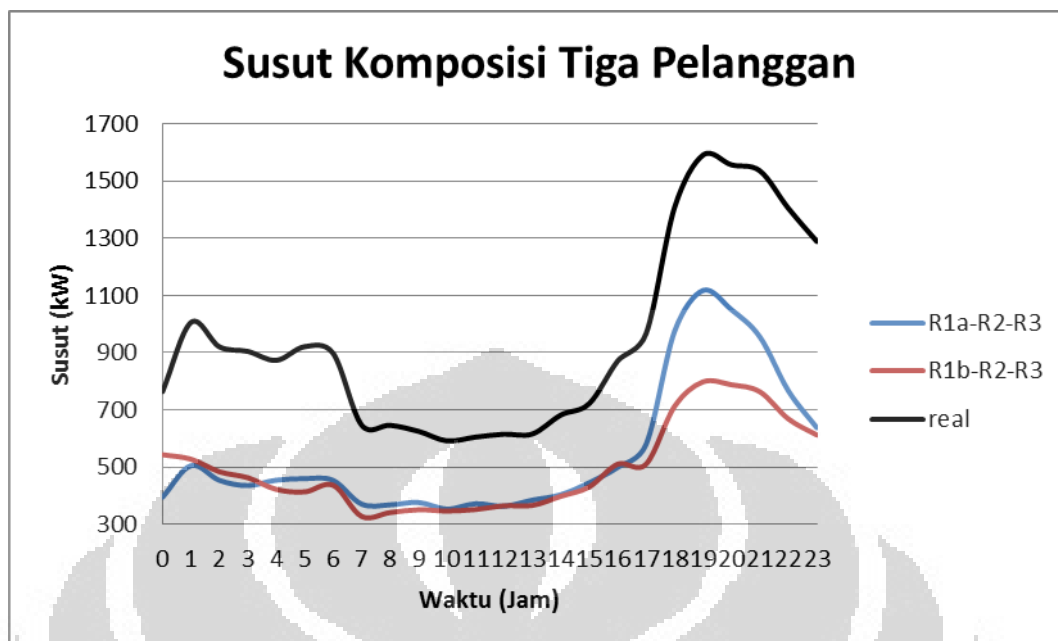
Pada kali ini akan diperlihatkan bagaimana karakteristik susut dan efisiensi jaringan apabila jaringan yang dibebani oleh komposisi tiga buah pelanggan, dengan bobot hampir merata, yaitu 40%-30%-30%. Komposisi yang dilakukan hanya dua, yaitu komposisi pelanggan R1 450-900 VA (40%)-R2 3300-5500 VA (30%)-R3 6600 VA (30%), komposisi lainnya adalah R1 1300-2200 VA (40%)-R2-R3. Pemilihan komposisi seperti ini karena pada dasarnya pelanggan R1 hanya ada satu, namun dibedakan karena terdapat perilaku penggunaan yang berbeda sehingga profil beban yang terbentuk pun berbeda, selain itu juga karena komposisi susut yang dihasilkan oleh pelanggan R1 sangat besar dibandingkan pelanggan R2 dan R3, sehingga pemilihan seperti ini agar bisa melihat susut dan efisiensi sistem secara lebih merata.

Tabel 4.13. Pelanggan R1 (450-900 VA) R2 (3300-5500 VA) dan R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	394.6606164	11621.24608	11226.58546	96.60397333
1	505.0284945	13021.95031	12516.92181	96.12171386
2	453.7889595	12401.71074	11947.92178	96.34091644
3	435.4243952	12141.12883	11705.70443	96.41364159
4	454.4081765	12303.77408	11849.36591	96.3067578
5	459.7495435	12207.7249	11747.97536	96.23394574
6	453.3833305	12090.33476	11636.95143	96.25003493
7	370.4242352	11352.27007	10981.84584	96.73700297
8	368.2065801	11511.5919	11143.38532	96.80142778
9	376.3223316	11877.71181	11501.38947	96.83169336
10	353.3394367	11580.0661	11226.72667	96.94872695
11	371.8626355	11852.26224	11480.3996	96.86251765
12	363.4021079	11699.01382	11335.61171	96.89373725
13	384.462839	12125.15872	11740.69588	96.82921397
14	403.3211067	12395.46738	11992.14627	96.74622106
15	445.3138084	12977.02665	12531.71285	96.56844499
16	499.2765293	13596.29489	13097.01836	96.32784863
17	579.6607686	14657.38282	14077.72205	96.04526418
18	974.5453469	18861.35142	17886.80608	94.83310965
19	1117.892382	20241.94397	19124.05159	94.47734673
20	1050.261301	19591.13811	18540.87681	94.63910011
21	955.03221	18359.5934	17404.56119	94.79818431
22	766.8533228	16190.29145	15423.43813	95.26349896
23	637.5903974	14566.72729	13929.13689	95.62296743
Total	13174.21086	329223.1617	316048.9509	
Rata-rata	548.9254523	13717.63174	13168.70629	96.1457204
max	1117.892382	20241.94397	19124.05159	96.94872695
min	353.3394367	11352.27007	10981.84584	94.47734673

Tabel 4.14. Pelanggan R1 (1300-2200 VA) R2 (3300-5500 VA) & R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	543.3582384	13288.88513	12745.5269	95.91118267
1	527.7978476	12994.03695	12466.2391	95.9381534
2	483.8460312	12468.90965	11985.06362	96.11958026
3	462.8643268	12170.77778	11707.91345	96.19692073
4	422.1418353	11675.58532	11253.44348	96.38440537
5	413.2389976	11419.37278	11006.13378	96.3812461
6	436.6267793	11742.65089	11306.02411	96.28170178
7	327.4352298	10525.61113	10198.1759	96.88915707
8	341.1366071	10884.54541	10543.40881	96.86586261
9	350.8403746	11274.16525	10923.32488	96.88810332
10	346.4636212	11245.41327	10898.94965	96.91906724
11	351.666485	11334.90924	10983.24276	96.89749183
12	364.6055823	11486.53443	11121.92884	96.82579994
13	365.9863192	11635.1998	11269.21348	96.85449046
14	397.9699382	12062.73562	11664.76568	96.7008318
15	430.6897766	12547.82805	12117.13827	96.56761493
16	510.5224789	13460.47515	12949.95267	96.20724771
17	510.789387	13565.13926	13054.34988	96.23454373
18	712.4426196	16165.31072	15452.8681	95.59276879
19	797.9930035	17179.65777	16381.66477	95.35501222
20	787.9572473	16972.09453	16184.13729	95.35733645
21	763.2683701	16324.72001	15561.45164	95.32446272
22	668.5566655	14902.5489	14233.99223	95.51380995
23	612.2917263	13942.91756	13330.62583	95.60858247
Total	11930.48949	311270.0246	299339.5351	
Rata-rata	497.1037287	12969.58436	12472.48063	96.24230723
max	797.9930035	17179.65777	16381.66477	96.91906724
min	327.4352298	10525.61113	10198.1759	95.32446272

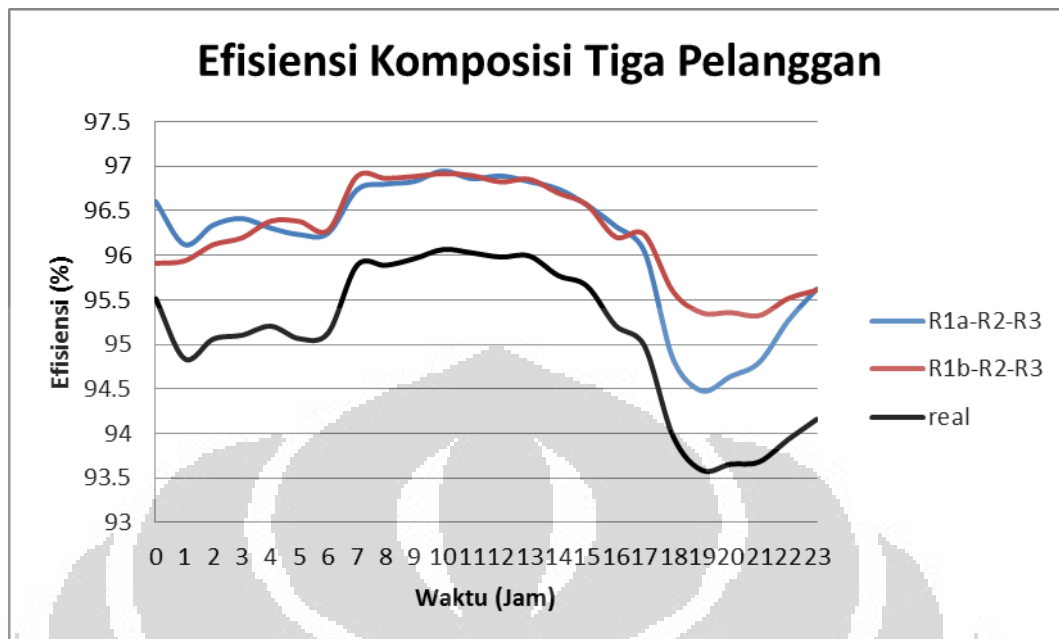


Grafik 4.5. Susut Jaringan dengan Tiga Pelanggan Bobot 40%-30%-30%

Grafik 4.5. menunjukkan bagaimana perilaku susut pada jaringan yang memiliki komposisi tiga pelanggan. Warna biru menunjukkan susut untuk jaringan berisi pelanggan R1 450-900 VA dengan pelanggan R2 dan pelanggan R3. Sementara Warna merah menunjukkan susut untuk pelanggan yang melayani pelanggan R1 1300-2200 VA dengan pelanggan R2 dan pelanggan R3. Warna hitam menunjukkan kondisi real Cempaka Putih

Terlihat dari grafik bahwa besar susut untuk kedua jaringan sangat mirip, baik dari bentuk kurva maupun besar nilainya. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya susut yang diakibatkan oleh pelanggan R1 sangat besar, sementara susut yang diakibatkan pelanggan R2 dan R3 cenderung kecil, sehingga tidak terlalu ada pengaruh yang signifikan. Kemudian kedua jaringan tersebut memiliki susut yang lebih kecil daripada kondisi real di Cempaka Putih.

Dari kurva dan data terlihat bahwa susut terkecil untuk pelanggan R1 (450-900 VA)-R2-R3 adalah 353.34 kW pada pukul 10.00, sementara untuk pelanggan R1 (1300-2200 VA)-R2-R3 adalah 327.44 kW pada pukul 07.00 juga. Kemudian untuk nilai terbesar susut diperoleh pada sekitar waktu beban puncak, yaitu pada pukul 19.00 dengan nilai 1117.89 kW untuk pelanggan R1 (450-900 VA)-R2-R3, dan pada pukul 19.00 juga dengan susut sebesar 797.99 kW untuk pelanggan R1 (1300-2200 VA)-R2-R3.



Grafik 4.6. Efisiensi Jaringan dengan Tiga Jenis Beban Bobot 40%-30%-30%

Grafik 4.6. menunjukkan bagaimana efisiensi jaringan apabila dibebani oleh tiga jenis pelanggan dengan bobot 40%-30%-30%. Berdasarkan grafik, nilai efisiensi jaringan antara keduanya tidak terlalu berbeda jauh, dilihat dari nilai rata-rata, jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA)-R2-R3 memiliki nilai 96.15% sementara untuk pelanggan R1 (1300-2200 VA)-R2-R3 bernilai 96.24%. Sementara untuk nilai efisiensi tertinggi, untuk komposisi pelanggan R1 (450-900 VA)-R2-R3 memiliki nilai 96.95% pada pukul 10.00, untuk komposisi pelanggan R1(1300-2200 VA)-R2-R3 memiliki nilai 96.92% pada pukul 10.00. Lalu untuk nilai efisiensi terendah, untuk pelanggan komposisi R1 (450-900 VA)-R2-R3 bernilai 94.48% pada pukul 19.00, sedangkan untuk komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA)-R2-R3 memiliki nilai 95.36% pada pukul 19.00. Berdasarkan grafik dan data hasil perhitungan maka dapat dikatakan bahwa tidak ada perbedaan besar untuk kedua komposisi ini, karena yang paling berpengaruh adalah susut akibat pelanggan R1.

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

Untuk pengolahan kali ini akan dilakukan perhitungan susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi komposisi dua pelanggan

juga, namun dengan bobot 70%-30%, sehingga beban timpang. Komposisi yang diambil adalah R1 (450-900 VA) dengan R2 (3300-5500 VA), R1 (450-900 VA) dengan R3 (>6600 VA), R1 (1300-2200 VA) dengan R2 (3300-5500 VA), dan R1 (1300-2200 VA) dengan R3 (>6600 VA).

Tabel 4.15. Pelanggan R1 (450-900 VA) dan R2 (3300-5500 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	584.3670289	15050.90189	14466.53486	96.11739527
1	747.6670773	17054.68836	16307.02128	95.61606133
2	669.131567	16130.89846	15461.76689	95.85186424
3	651.8472711	15885.64489	15233.79762	95.89662695
4	700.4476162	16393.86625	15693.41863	95.72737995
5	737.9814757	16663.64664	15925.66517	95.57130866
6	732.4039192	16568.27025	15835.86634	95.57947868
7	533.5271151	14412.75804	13879.23092	96.29823026
8	509.0045789	14090.52137	13581.51679	96.38761004
9	484.8264727	13761.4721	13276.64563	96.47692871
10	435.7268733	13055.68537	12619.9585	96.66255075
11	465.0557377	13486.92363	13021.86789	96.55180269
12	448.9097243	13253.25074	12804.34102	96.61283309
13	465.0557377	13486.92363	13021.86789	96.55180269
14	494.8877623	13911.34928	13416.46152	96.44256102
15	546.9029671	14628.71669	14081.81373	96.26144262
16	631.9356329	15722.82157	15090.88594	95.98077463
17	779.7652464	17404.17542	16624.41018	95.51966567
18	1355.631526	22901.27114	21545.63961	94.08054025
19	1551.414531	24462.72178	22911.30725	93.65804613
20	1459.36057	23756.93505	22297.57448	93.85711765
21	1375.331742	23098.83651	21723.50477	94.04588304
22	1146.772655	21046.87874	19900.10609	94.55134099
23	967.6545824	19342.36352	18374.70894	94.99722678
Total	18475.60941	405571.5213	387095.9119	
Rata-rata	769.8170587	16898.81339	16128.99633	95.637353
max	1551.414531	24462.72178	22911.30725	96.66255075
min	435.7268733	13055.68537	12619.9585	93.65804613

Tabel 4.16. Pelanggan R1 (450-900 VA) dan R3 (>6600 VA)

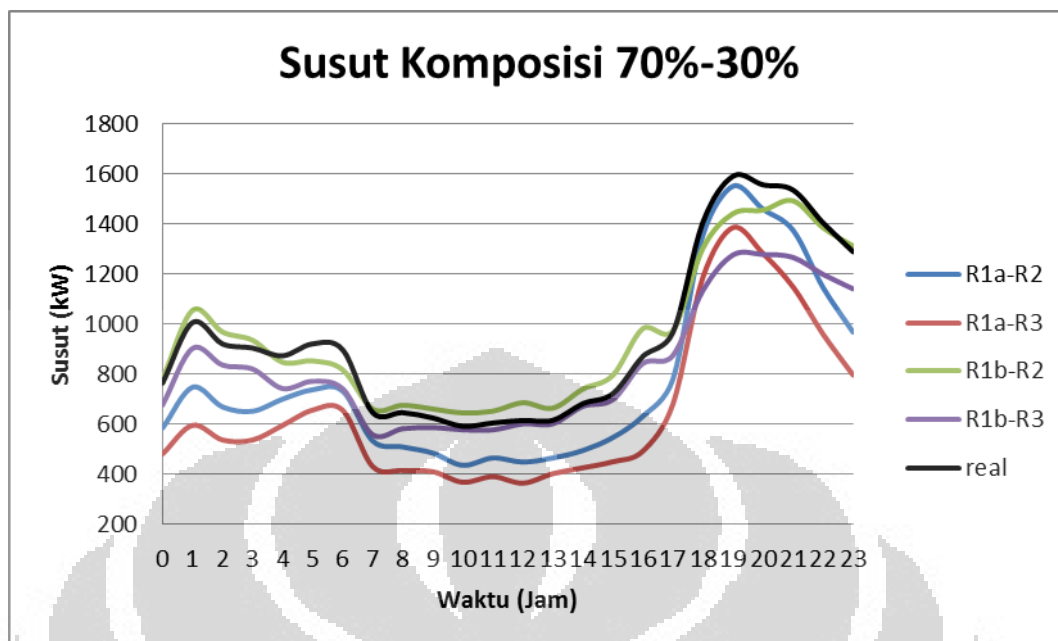
Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	480.7200295	12839.14148	12358.42145	96.25582419
1	595.7290959	14165.80236	13570.07326	95.79459687
2	537.0674613	13507.70382	12970.63636	96.02399143
3	537.0674613	13507.70382	12970.63636	96.02399143
4	595.3059047	14150.6939	13555.388	95.79309744
5	656.5801954	14788.64783	14132.06763	95.56024186
6	656.166022	14773.53937	14117.37335	95.55850494
7	430.695439	12241.86827	11811.17283	96.48178342
8	415.2576818	12214.98812	11799.73044	96.600425
9	410.403374	12389.55405	11979.15068	96.68750487
10	368.1374377	11817.0701	11448.93266	96.88469786
11	390.5083	12141.08321	11750.57491	96.78357941
12	364.425336	11731.45551	11367.03018	96.8936051
13	402.367315	12397.92697	11995.55965	96.75455973
14	425.7526964	12726.97623	12301.22354	96.65472231
15	449.9308025	13056.0255	12606.0947	96.55384556
16	492.6350775	13542.89487	13050.25979	96.36240935
17	680.1623976	15854.61267	15174.45027	95.71000306
18	1187.124633	20802.06137	19614.93674	94.2932356
19	1385.957663	22536.25906	21150.3014	93.85009881
20	1282.103613	21631.38907	20349.28546	94.0729483
21	1149.059112	20132.25315	18983.19404	94.29244654
22	960.0446033	18146.24787	17186.20326	94.70940433
23	796.2765218	16326.43559	15530.15907	95.12277792
Total	15649.47817	357422.3342	341772.856	
Rata-rata	652.0615906	14892.59726	14240.53567	95.82159564
max	1385.957663	22536.25906	21150.3014	96.8936051
min	364.425336	11731.45551	11367.03018	93.85009881

Tabel 4.17. Pelanggan R1 (1300-2200 VA) & R2 (3300-5500 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	780.0600379	17229.85283	16449.79279	95.47262507
1	1054.51606	20048.17283	18993.65677	94.74008894
2	968.312287	19186.42929	18218.117	94.95313968
3	935.4958703	18798.1232	17862.62733	95.02346133
4	847.5721256	17909.14132	17061.56919	95.26737709
5	852.9393027	17806.92822	16953.98892	95.21007053
6	817.6958949	17425.44679	16607.75089	95.30746095
7	660.4470496	15947.27757	15286.83052	95.85855926
8	675.7386747	16120.98478	15445.2461	95.80832881
9	660.8953443	15954.09017	15293.19482	95.85751781
10	645.2132414	15763.34945	15118.13621	95.90687726
11	651.9494492	15865.53844	15213.58899	95.89078271
12	685.7999642	16270.86196	15585.06199	95.78510367
13	664.5099907	16008.59096	15344.08097	95.84904135
14	740.4766088	16866.91414	16126.43753	95.60988689
15	795.4824333	17541.33733	16745.8549	95.46509814
16	982.2489548	19479.39516	18497.14621	94.95749767
17	974.2323065	19329.50592	18355.27362	94.95986959
18	1303.527201	22480.17021	21176.64301	94.20143536
19	1441.792424	23631.42309	22189.63067	93.89883369
20	1455.44189	23726.78742	22271.34553	93.86582826
21	1492.898773	24012.89247	22519.9937	93.78292817
22	1385.427762	22991.02673	21605.59897	93.97405006
23	1312.269066	22292.76145	20980.49238	94.1134746
Total	22784.94271	452687.0017	429902.059	
Rata-rata	949.3726129	18861.9584	17912.58579	95.0733057
max	1492.898773	24012.89247	22519.9937	95.90687726
min	645.2132414	15763.34945	15118.13621	93.78292817

Tabel 4.18. Pelanggan R1 (1300-2200 VA) & R3 (>6600 VA)

Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	676.4130385	15018.09242	14341.67939	95.49601228
1	902.5780783	17159.28683	16256.70875	94.74000238
2	836.2481813	16563.23465	15726.98647	94.95117832
3	820.7160605	16420.18213	15599.46607	95.00178467
4	742.4304141	15665.96897	14923.53856	95.26087141
5	771.5380224	15931.92941	15160.39139	95.15728445
6	741.4579977	15630.71591	14889.25791	95.25640411
7	557.6153734	13776.3878	13218.77242	95.9523833
8	581.9917776	14245.45153	13663.45975	95.91454313
9	586.4722455	14582.17212	13995.69987	95.97815579
10	577.6238058	14524.73418	13947.11037	96.02317124
11	577.4020115	14519.69802	13942.29601	96.02331942
12	601.3155759	14749.06673	14147.75115	95.92302627
13	601.8215679	14919.5943	14317.77273	95.96623369
14	671.3415429	15682.54109	15011.19955	95.71917881
15	698.5102687	15968.64614	15270.13587	95.62573895
16	842.9483994	17299.46846	16456.52006	95.12731619
17	874.6294577	17779.94317	16905.31371	95.08080847
18	1135.020308	20380.96045	19245.94014	94.43097733
19	1276.335556	21704.96038	20428.62482	94.11961352
20	1278.184934	21601.24145	20323.05652	94.08281725
21	1266.626143	21046.30911	19779.68297	93.98171843
22	1198.69971	20090.39585	18891.69614	94.03346893
23	1140.891005	19276.83352	18135.94251	94.08154351
Total	19958.81147	404537.8146	384579.0031	
Rata-rata	831.6171448	16855.74227	16024.12513	95.16364799
max	1278.184934	21704.96038	20428.62482	96.02331942
min	557.6153734	13776.3878	13218.77242	93.98171843

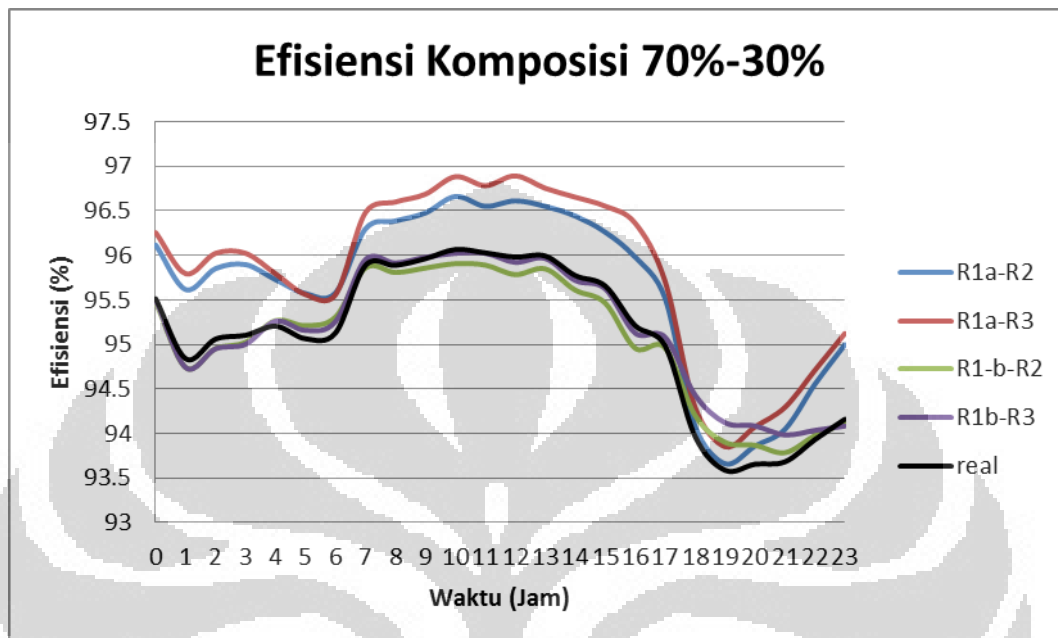


Grafik 4.7. Susut Jaringan dengan Dua Pelanggan Bobot 70%-30%

Grafik 4.7. menampilkan perbandingan susut jaringan untuk komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2 yang ditunjukkan dengan warna biru dan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3 yang ditunjukkan dengan warna merah. Warna hijau menunjukkan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R2, warna ungu menunjukkan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R3, dan warna hitam menunjukkan kondisi real di Cempaka Putih.

Jika dilihat dari nilai, nilai maksimum susut untuk komposisi R1 (450-900 VA) dengan R2 adalah 1551.41 kW pada pukul 19.00, untuk komposisi R1 (450-900 VA) dengan R3 adalah 1385.96 kW pada pukul 19.00 juga. Jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R2 memiliki nilai susut maksimum 1492.89 kW pada pukul 21.00, dan untuk komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dan R3 memiliki nilai susut maksimum 1278.18 kW pada pukul 20.00. Untuk nilai susut terendah komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2 ada pada nilai 435.73 pada pukul 10.00, sementara susut terendah untuk komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3 adalah 364.42 kW pada pukul 12.00. Kemudian untuk jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R2 memiliki nilai susut maksimum 1492.89 kW pada pukul 21.00, dan untuk jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R3 memiliki nilai susut maksimum 1278.18 kW pada pukul 20.00. Rata-rata susut

terbesar dimiliki oleh jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R2 dengan nilai 949.37 kW, lalu nilai rata-rata susut terendah dimiliki komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3 dengan nilai 652.06 kW.



Grafik 4.8. Efisiensi Jaringan dengan Dua Pelanggan Bobot 70%-30%

Grafik 4.8. menunjukkan bagaimana efisiensi kerja dari jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan pelanggan R2 dan R3. Warna biru menunjukkan komposisi antara pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2, sementara warna merah menunjukkan komposisi antara pelanggan R1 (450-900 VA) dengan pelanggan R3 dan warna hitam menunjukkan kondisi real Cempaka Putih.

Efisiensi memiliki hubungan berbanding terbalik dengan susut pada jaringan, sehingga apabila susut kecil efisiensi akan tinggi, dan begitu juga sebaliknya. Dari grafik dapat dilihat bahwa efisiensi jaringan apabila berisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2 akan memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi jaringan yang memiliki komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan pelanggan R3. Dari nilai rata-rata efisiensi, jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan pelanggan R2 memiliki nilai efisiensi 95.64% sementara jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3 bernilai 95.82%. Untuk nilai tertinggi efisiensi pada jam-jam tertentu, jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2

memiliki nilai 96.66% pada pukul 10.00 sementara untuk jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3 memiliki nilai efisiensi 96.89%. Kemudian untuk nilai terendah efisiensi, dicapai pada area waktu beban puncak, dengan nilai 93.66% untuk komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R2, lalu nilai 93.85% untuk komposisi pelanggan R1 (450-900 VA) dengan R3, keduanya berada pada waktu yang sama, yaitu 19.00.

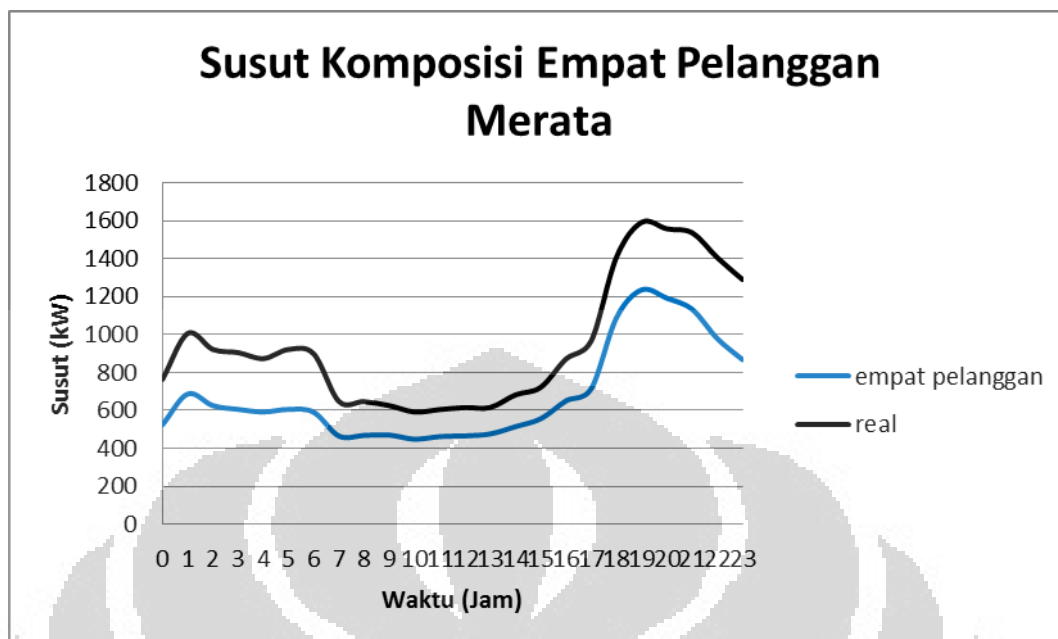
Dari nilai rata-rata efisiensi, jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan pelanggan R2 memiliki nilai efisiensi 95.073% sementara jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R3 bernilai 95.16%. Nilai tertinggi efisiensi pada jam tertentu dicapai oleh jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R2 memiliki nilai 95.91% pada pukul 10.00 sementara untuk jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R3 memiliki nilai 96.02% pada pukul 11.00. Untuk nilai efisiensi terendah, dicapai pada waktu beban puncak, dengan nilai 93.78% untuk komposisi pelanggan R1 (1300-220 VA) dengan R2, lalu nilai 93.98% untuk komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) dengan R3, keduanya tercapai pada waktu yang sama, yaitu pukul 21.00.

4.2.5. Analisis Profil Susut dan Efisiensi Jaringan dengan Empat Pelanggan Bobot Seimbang

Pada subbab ini akan dilihat bagaimana perilaku susut dan efisiensi dari jaringan tegangan rendah seandainya jaringan tegangan rendah tersebut berisi semua kelas beban pelanggan residensial namun dengan bobot seimbang, yaitu 25%-25%-25%-25%. Berikut adalah tabel dari hasil perhitungan yang mencakup nilai susut jaringan, daya masuk ke jaringan tegangan rendah, daya keluar jaringan tegangan rendah yang berarti daya yang masuk ke rumah, dan nilai efisiensi dari jaringan tegangan rendah tersebut.

Tabel 4.19. Empat Pelanggan Bobot Seimbang

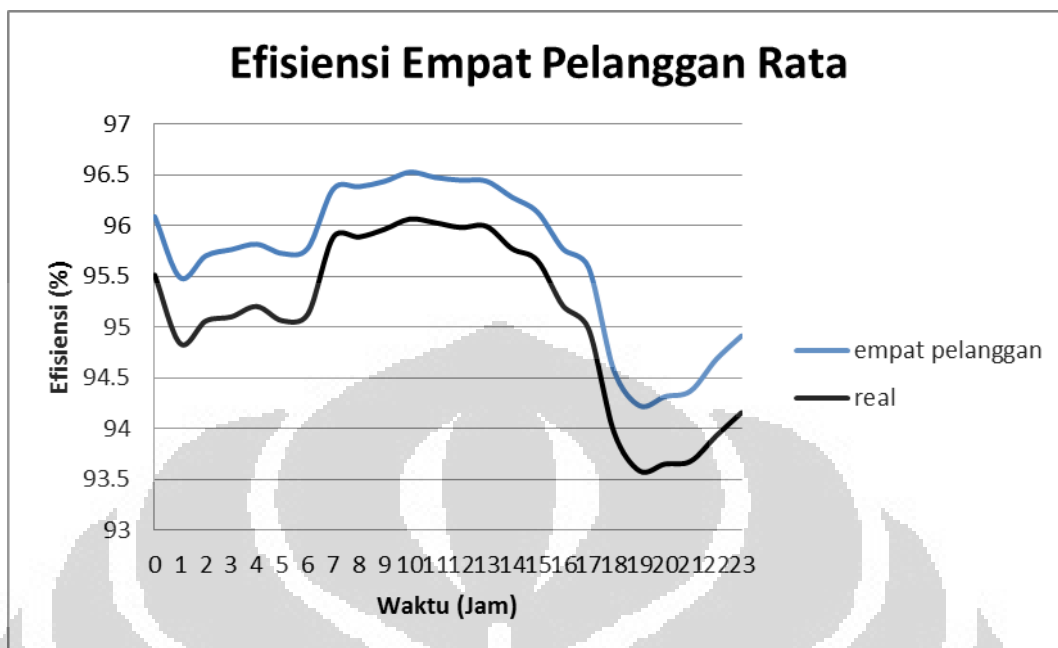
Jam	Losses (kW)	P _{in} (kW)	P _{out} (kW)	Efisiensi (%)
0	524.6989141	13419.61259	12894.91368	96.09005915
1	686.9156734	15224.06848	14537.1528	95.48796253
2	625.2667563	14549.76025	13924.49349	95.70256317
3	605.7660343	14300.23003	13694.464	95.76394203
4	592.086609	14155.50402	13563.41741	95.81726932
5	605.7095945	14173.16169	13567.45209	95.72636221
6	590.418177	13982.86936	13392.45118	95.77756066
7	464.6564109	12769.22251	12304.5661	96.36112214
8	468.5330745	12954.40367	12485.8706	96.38321388
9	469.8699639	13180.44725	12710.57728	96.43509848
10	448.5395191	12911.99048	12463.45097	96.52617836
11	462.3810529	13115.43229	12653.05124	96.47452678
12	465.8628904	13111.85084	12645.98795	96.44700892
13	476.4296658	13374.37954	12897.94987	96.43774379
14	514.9420232	13844.44036	13329.49834	96.28051399
15	556.253907	14384.97738	13828.72347	96.13309154
16	650.363511	15376.86691	14726.5034	95.77050699
17	714.78839	16210.29972	15495.51133	95.59052946
18	1088.164081	20042.42586	18954.26178	94.57069674
19	1235.284824	21397.66448	20162.37965	94.22701096
20	1191.31593	20959.66746	19768.35153	94.31615061
21	1132.856531	20127.83772	18994.98119	94.37169285
22	978.063031	18387.26907	17409.20604	94.68075968
23	867.2823416	17055.65237	16188.37003	94.91498582
Total	16416.44891	369010.0343	352593.5854	
Rata-rata	684.0187044	15375.4181	14691.39939	95.67860625
max	1235.284824	21397.66448	20162.37965	96.52617836
min	448.5395191	12769.22251	12304.5661	94.22701096



Grafik 4.9. Susut Jaringan dengan Empat Pelanggan Bobot Sama

Grafik 4.9. menunjukkan susut dari jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi keempat jenis pelanggan namun memiliki bobot yang sama. Bentuk dari karakteristik susut tersebut cenderung sama dengan profil beban pelanggan R1, baik itu pelanggan berdaya 450-900 VA maupun pelanggan dengan daya 1300-2200 VA. Hal ini diakibatkan sebagian besar susut dari jaringan tegangan rendah berasal dari pelanggan R1, ini bisa terjadi karena sebagian besar pelanggan listrik di Indonesia adalah R1, sehingga meskipun pemakaian cenderung kecil, namun jumlah pelanggan yang banyak mengakibatkan akumulasi pemakaian bertambah besar.

Berdasarkan grafik dan perhitungan, susut terbesar dicapai ketika pukul 19.00, saat-saat utama waktu beban puncak, dengan susut sebesar 1235.28 kW. Sementara untuk nilai susut terkecil diperoleh ketika jam 10.00, dengan nilai susut 448.54 kW. Kemudian untuk rata-rata susut dalam satu hari untuk komposisi empat pelanggan dalam satu jaringan adalah 684.02 kW.



Grafik 4.10. Efisiensi Jaringan dengan Empat Pelanggan Bobot Sama

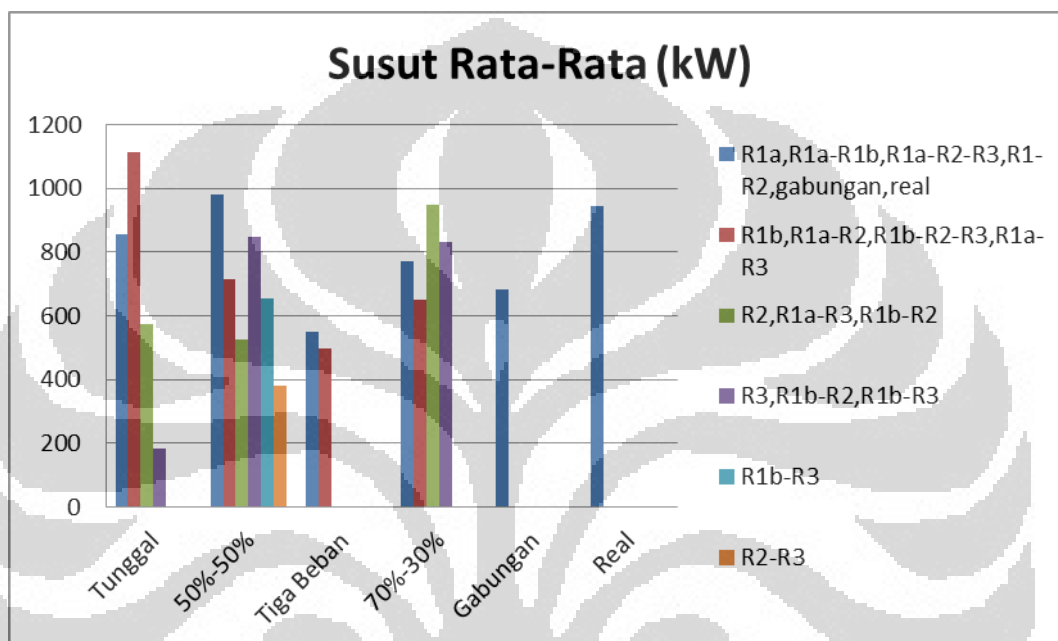
Grafik 4.10. menunjukkan bagaimana efisiensi jaringan tegangan rendah apabila jaringan tersebut berisi empat jenis pelanggan dengan bobot seimbang. Karena pada dasarnya efisiensi merupakan kebalikan dari susut jaringan, maka pada beban puncak efisiensi jaringan akan rendah, sementara pada waktu-waktu dini hari efisiensi jaringan cenderung akan tinggi.

Berdasarkan grafik dan perhitungan, jaringan akan memiliki efisiensi tertinggi pada saat jam 10.00 dengan efisiensi sebesar 96.53%. Sementara efisiensi terendah tercapai pada pukul 19.00 dengan nilai efisiensi hanya sebesar 94.23%. Kemudian secara umum sistem memiliki efisiensi rata-rata selama satu hari sebesar 95.68%.

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 tiga jenis pelanggan dengan bobot 40%-30%-30%, berisi dua pelanggan dengan bobot 70%-30%, dan terakhir model jaringan apabila berisi empat pelanggan sekaligus dengan bobot sama rata 25%.

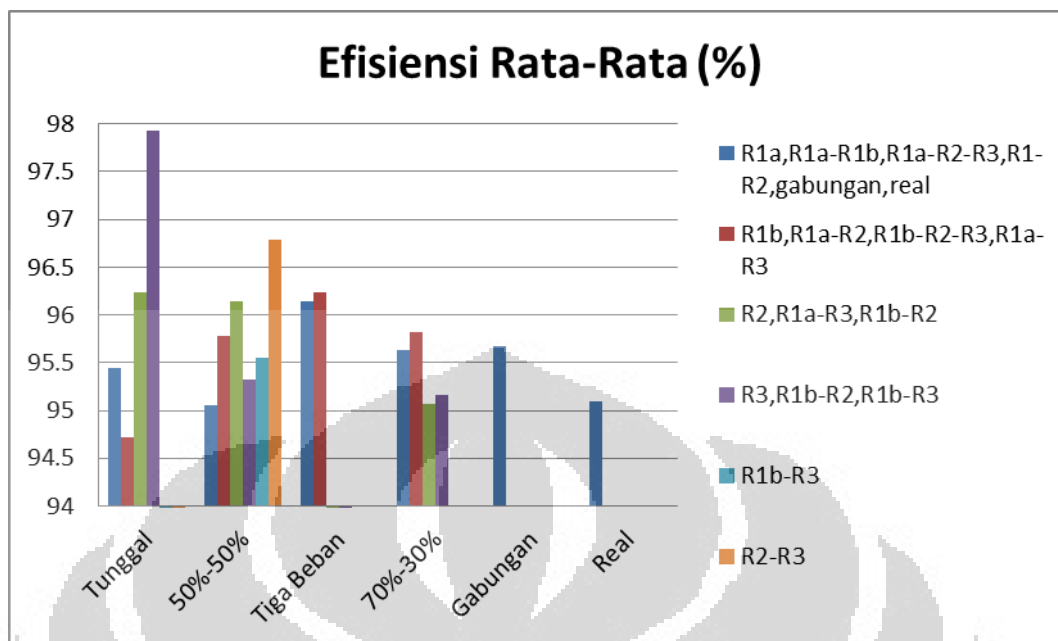
Pada subbab ini akan dilakukan rekapitulasi hasil perhitungan yang menunjukkan nilai maksimal, nilai minimal, nilai rata-rata, dan total nilai dari parameter-parameter susut jaringan, daya masuk jaringan, daya masuk ke pelanggan, dan efisiensi sistem. Setelah diperlihatkan hasil rekapitulasi tersebut,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



Grafik 4.11. Susut terhadap Komposisi Pelanggan

Grafik 4.11. menunjukkan bagaimana besar susut dari masing-masing komposisi pelanggan yang telah disimulasikan sebelumnya. Terlihat bahwa susut terbesar dicapai apabila jaringan hanya berisi pelanggan R1 berdaya 1300-2200 VA saja, dengan nilai susut maksimal di jaringan rata-rata mencapai sekitar 1100 kW, bahkan lebih besar apabila dibandingkan dengan susut pada kondisi real, yang hanya pada nilai sekitar 900 kW. Sementara susut jaringan terendah didapat apabila jaringan hanya berisi komposisi pelanggan R3 (>6600 VA) saja, dengan nilai susut rata-rata hanya hampir mencapai 200 kW.

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



Grafik 4.12. Efisiensi terhadap Komposisi Pelanggan

Pada Grafik 4.12. hubungan yang diperlihatkan adalah bagaimana hubungan antara efisiensi sistem dengan komposisi-komposisi pelanggan yang telah dijabarkan sebelumnya. Dari grafik 4.14 terlihat bahwa efisiensi tertinggi dicapai oleh jaringan yang berisi komposisi dari pelanggan R2 (3300-5500 VA) dengan pelanggan R3 (>6600 VA) dimana efisiensi hampir mencapai nilai 98%. Sementara efisiensi terendah adalah pada jaringan yang berisi komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) saja, yaitu dengan nilai sekitar 94,6%. 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-komposisi 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, kelonjakan arus yang masuk ke jaringan tidak akan terlalu besar. Kemudian jika melihat pada grafik susut dan efisiensi jaringan tegangan rendah tersebut dapat dilihat bahwa rupanya pelanggan berdaya besar memiliki susut yang lebih rendah, dan sebaliknya pelanggan berdaya rendah justru memiliki susut jaringan yang kecil.

Berdasarkan grafik juga dapat dilihat bahwa pemilihan jaringan yang paling baik adalah dengan menggunakan komposisi tiga pelanggan R1 (1300-2200 VA)-R2 (3300-5500 VA)-R3 (>6600 VA) dengan bobot 40%-30%-30%. Hal ini dari segi susut dan efisiensi komposisi tersebut memiliki nilai susut yang rendah dan efisiensi yang tinggi. Pada tabel rekapitulasi yang terdapat pada lampiran 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 R1 daya apa yang digunakan, karena pada kenyataannya terdapat dua kelas R1, yaitu R1 berdaya 450-900 VA dan R1 berdaya 1300-2200 VA. Menurut tabel dan perhitungan R1 berdaya 1300-2200 VA memiliki susut dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan R1 berdaya 450-900 VA apabila digabungkan dengan pelanggan R2 dan R3.

Dari segi manajemen beban, apabila digunakan R1 berdaya 450-900 VA memang lebih bisa menyuplai lebih banyak rumah berdaya tersebut dibandingkan rumah berdaya 1300-2200 VA, namun hal itu juga bisa menjadi senjata makan tuan karena dikhawatirkan terlalu banyak pelanggan-pelanggan baru yang berdaya kecil dan langsung masuk kecil, sehingga mengakibatkan gardu-gardu kelebihan beban karena banyaknya daya-daya baru yang masuk. Sementara untuk pelanggan 1300-2200 VA karena daya yang digunakan cenderung besar, maka pengontrolan terhadap pelanggan lebih mudah.

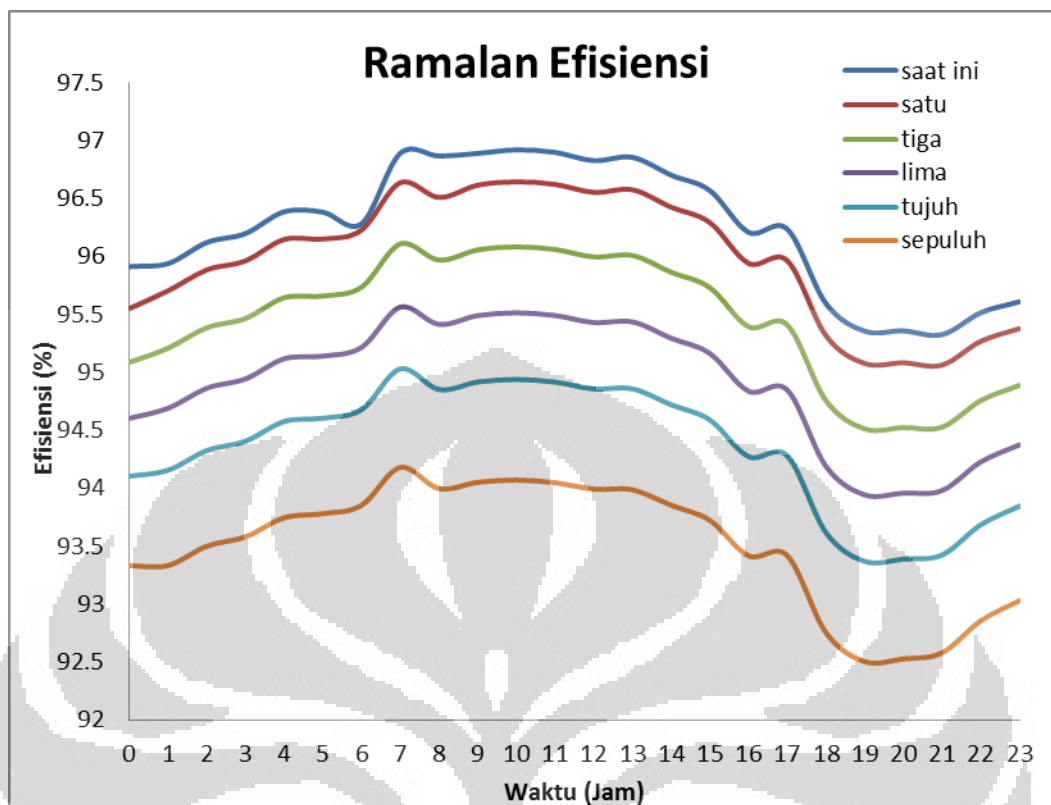
Salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk menekan susut dan meningkatkan efisiensi jaringan tegangan rendah adalah dengan adanya program

penambahan daya, sehingga level daya pelanggan naik dan lebih mudah untuk mencapai kesamaan dalam kurva beban. Hal ini bisa dilihat bahwa untuk pelanggan R2 dan R3 kurva beban pelanggan tersebut cenderung mirip, sementara untuk R1 berbeda jauh. Kurva beban yang berbeda-beda ini sebisa mungkin dihindari agar meminimalisir ketidakstabilan sistem. Kemudian pemilihan R1 kelas 1300-2200 VA lebih baik dibandingkan kelas 450-900 VA karena apabila sudah dikomposisikan dengan pelanggan R2 dan R3 susut dan efisiensi lebih baik dibandingkan apabila dikomposisikan dengan pelanggan R1 kelas 450-900 VA. Kemudian untuk model jaringan, dapat dilihat yang paling efisien adalah jaringan yang berisi tiga jenis pelanggan dengan bobot 40%-30%-30% dengan komposisi R1 (1300-2200 VA)-R2 (3300-5500 VA)- R3 (>6600 VA).

4.4. Analisis Peramalan Beban

Setelah didapatkan komposisi pelanggan yang paling optimal dalam suatu jaringan, yaitu komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) 40% - R2 (3300-5500 VA) 30% - R3 (>6600 VA) 30% selanjutnya akan dilihat bagaimana perilaku jaringan tersebut apabila ada penambahan beban.

Penambahan beban ini disesuaikan dengan kondisi nyata, dimana dianggap akan ada penambahan beban sekitar 2% setiap tahunnya yang disesuaikan dengan pertumbuhan penduduk DKI Jakarta. Penambahan beban ini akan menambah persen pembebanan pada setiap jam, sehingga konsumsi listrik setiap jam juga akan meningkat sesuai dengan jumlah pembebanan. Berikut akan diperlihatkan grafik ramalan perubahan efisiensi setiap tahun yang diakibatkan adanya penambahan beban. Dengan adanya peramalan ini dapat dilihat bagaimana perilaku sistem beberapa tahun ke depan sehingga dapat diantisipasi apabila adanya degradasi kualitas sistem yang terlalu jauh. Pada grafik ini yang akan dilihat bagaimana efisiensi sistem pada beberapa tahun ke depan, dengan asumsi penambahan beban adalah 2% setiap tahunnya



Grafik 4.13. Efisiensi Sepuluh Tahun Ke Depan

Grafik 4.13 di atas menunjukkan bagaimana efisiensi jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) 40% - R2 30% - R3 30% untuk sepuluh tahun ke depan. Warna biru tua menunjukkan kondisi sekarang, warna merah menunjukkan efisiensi satu tahun ke depan, hijau merupakan efisiensi tiga tahun ke depan, ungu adalah efisiensi lima tahun ke depan, biru muda untuk efisiensi tujuh tahun ke depan, dan warna orange memperlihatkan efisiensi sepuluh tahun ke depan.

Dapat dilihat terjadi penurunan nilai rata-rata efisiensi sekitar 0,5% di setiap tahunnya. Hal ini berarti terjadi penurunan efisiensi yang cukup drastis setiap tahunnya, dan sistem akan bekerja buruk mulai 7 tahun ke depan, dimana nilai efisiensi rata-rata sudah mulai di bawah nilai 95% dan sebaiknya mulai dipikirkan bagaimana langkah-langkah untuk menaikkan efisiensi sistem.

Dengan adanya peramalan efisiensi ini, dapat diketahui kapan sebaiknya dilakukan peningkatan kapasitas sistem sehingga sistem mampu bekerja pada nilai optimalnya.

BAB 5

KESIMPULAN

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

1. Semua tarif residensial akan memiliki susut terbesar pada waktu beban puncak, yaitu antara pukul 19.00-22.00.
2. Semua pelanggan residensial memiliki efisiensi terbesar di pagi hari, yaitu antara pukul 06.00-11.00 dengan nilai **96.62%** dan **95.63%** untuk pelanggan R1, sementara untuk pelanggan R2 dan R3 dengan nilai **97.11%** dan **98.63%**.
3. Komposisi jaringan tegangan rendah dengan satu jenis pelanggan saja memiliki susut paling besar dengan rata-rata susut **681.07 kW**.
4. Komposisi jaringan yang paling efisien adalah dengan menggunakan tiga jenis pelanggan dalam satu jaringan tegangan rendah, dengan komposisi R1 (1300-2200 VA) 40%, R2 (3300-5500 VA) 30% , dan R3 (>6600 VA) 30% dengan nilai susut **497.1 kW** dan nilai efisiensi **96.24%**
5. Salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk mencapai komposisi tersebut adalah dengan adanya program penambahan daya, sehingga dapat menaikkan daya pelanggan 450-900 VA menjadi minimal berdaya 1300-2200 VA.
6. Walaupun jaringan dengan komposisi pelanggan R1 (1300-2200 VA) 40% - R2 - R3 memiliki nilai efisiensi paling baik, namun ternyata jaringan tersebut tidak bisa bertahan untuk sepuluh tahun ke atas, sehingga harus dilakukan penambahan kapasitas.
7. Peramalan kapasitas dapat digunakan untuk mengetahui kapan harus dilakukan penambahan kapasitas untuk mengantisipasi penurunan kualitas jaringan.

DAFTAR ACUAN

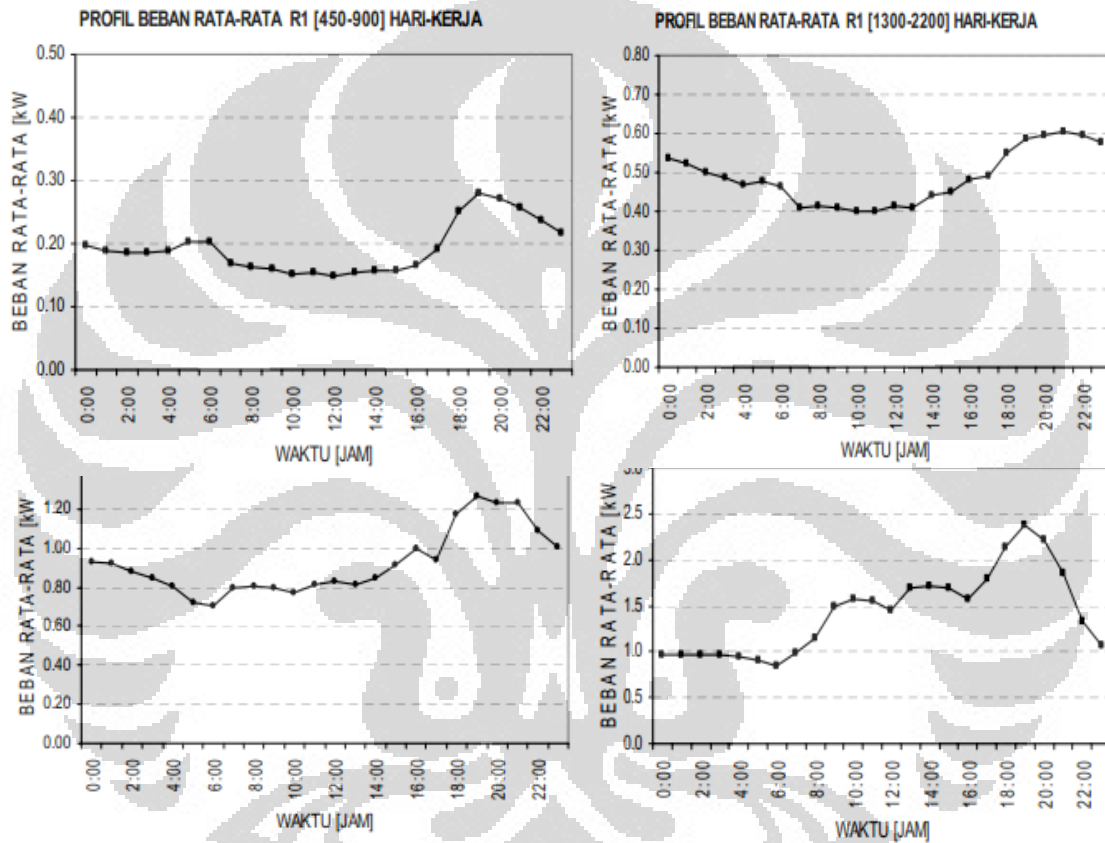
- [1] Jerry C. Whittaker, AC Power System Handbook, California 2007
- [2] Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Oxford & IBH Publishing Company, New Delhi 1950
- [3] Chapman, Stephen J., Electric Machinery and Power System Fundamentals International Edition, McGraw Hill, Singapore,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

**RESISTANSI PENGHANTAR (KABEL) INSTALASI TETAP
PADA SUHU 20⁰C**

Luas penampang nominal mm ²	Jumlah minimum kawat	Berlapis logam		Polos		Aluminium	
		Inti tunggal	Inti banyak	Inti tunggal	Inti banyak	Inti tunggal	Inti banyak
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km
1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	1	36,0	36,7	36,3	36,0	-	-
0,75	1	24,3	24,8	24,0	24,5	-	-
1	1	17,9	18,2	17,7	18,1	29,3	29,9
1,5	1	12,0	12,2	11,9	12,1	19,7	20,0
2,5	1	7,21	7,35	7,14	7,28	11,8	12,0
4	1	4,51	4,60	4,47	4,56	7,39	7,54
6	1	3,0	3,06	2,97	3,03	4,91	5,01
10	1	1,79	1,83	1,77	1,81	2,94	3,0
16	1	1,13	1,15	1,12	1,14	1,85	1,89
0,5	7	42,4	43,10	41,7	42,40	-	-
0,75	7	27,0	27,50	26,8	27,0	-	-
1	7	21,2	21,60	20,8	21,20	34,8	35,4
1,5	7	13,6	13,60	13,3	13,60	22,2	22,7
2,5	7	7,41	7,56	7,27	7,41	12,1	12,4
4	7	4,6	4,70	4,52	4,61	7,55	7,70
6	7	3,05	3,11	3,02	3,08	4,99	5,09
10	7	1,81	1,84	1,79	1,83	2,96	3,02
16	7	1,11	1,16	1,13	1,15	1,87	1,91
25	7 (19)	0,719	0,734	0,712	0,727	1,18	1,20
35	19	0,519	0,529	0,514	0,524	0,851	0,868
50	19	0,383	0,391	0,379	0,387	0,628	0,641
70	7	0,265	0,270	0,262	0,268	0,435	0,443
95	7	0,191	0,195	0,189	0,193	0,313	0,320
120	7	0,151	0,154	0,150	0,153	0,248	0,253
150	7	0,123	0,126	0,122	0,124	0,202	0,206
185	7	0,0982	0,100	0,0972	0,0991	0,161	0,164
240	7	0,0747	0,0762	0,0740	0,0754	0,122	0,125
300	7 (19)	0,0595	0,0607	0,059	0,0601	0,976	0,100
400	19	0,0465	0,0475	0,0461	0,0470	0,0763	0,0778
500	19	0,0369	0,0377	0,0366	0,0373	0,0605	0,0617

Sumber : Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000)

PROFIL BEBAN RATA – RATA PELANGGAN RESIDENSIAL



Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007

**JUMLAH DAN KAPASITAS TERPASANG PELANGGAN PT PLN
DISJAYA AREA CEMPAKA PUTIH RESIDENSIAL**

Tarif	pelanggan	daya (va)	daya (watt)	%pelanggan	%daya
R1a	61945	37981230	32284045.5	36.569	15.34214
R1b	90049	121920940	103632799	53.159	49.248752
R2	13689	49086140	41723219	8.081	19.827859
R3	3711	38573170	32787194.5	2.191	15.581249
total	169394	247561480	210427258	100	100

Sumber : Laporan Bulanan PLN Area Cempaka Putih, 2012

Keterangan :

- R1a = Residensial pelanggan daya 450-900 VA
- R1b = Residensial pelanggan daya 1300-2200 VA
- R2 = Residensial pelanggan daya 3300-5500 VA
- R3 = Residensial pelanggan daya 6600 VA ke atas

**DATA PERSEN PEMBEBANAN MASING – MASING
JENIS PELANGGAN**

Jam	R1a		R1b		R2		R3	
	Daya (kW)	Pembebanan (%)	Daya (kW)	Pembebanan (%)	Daya (kW)	Pembebanan (%)	Daya (kW)	Pembebanan (%)
0	0.16	27	0.42	33	0.8	22	0.99	9.5
1	0.19	31	0.52	38	0.94	26	0.99	9.5
2	0.18	29.4	0.5	36.9	0.88	23.5	0.99	9.5
3	0.18	29.4	0.49	36.6	0.83	23.1	0.99	9.5
4	0.19	30.9	0.47	34.7	0.79	22.2	0.98	9.4
5	0.2	32.6	0.48	35.4	0.72	20.1	0.97	9.3
6	0.2	32.6	0.47	34.7	0.7	19.5	0.96	9.2
7	0.16	26.1	0.41	29.9	0.79	22.2	1.02	9.8
8	0.15	24.7	0.41	29.9	0.79	22.2	1.2	11.5
9	0.15	24.7	0.4	29.8	0.79	22.2	1.5	14.4
10	0.14	23.6	0.4	29.8	0.79	22.2	1.55	14.9
11	0.15	24.7	0.4	29.8	0.81	22.6	1.54	14.8
12	0.14	23.6	0.41	29.9	0.83	23.2	1.5	14.4
13	0.15	24.7	0.4	29.8	0.81	22.6	1.7	16.4
14	0.15	24.7	0.43	31.8	0.83	23.2	1.7	16.4
15	0.15	24.7	0.44	32.5	0.91	25.4	1.7	16.4
16	0.16	26.9	0.49	36.2	0.99	27.9	1.6	15.4
17	0.19	30.9	0.5	36.6	0.94	26.2	1.8	17.3
18	0.26	42.4	0.56	41.4	1.19	33.2	2.2	21.2
19	0.28	45.7	0.59	43.6	1.24	34.6	2.4	23.6
20	0.27	44	0.59	43.6	1.23	34.3	2.3	22.1
21	0.26	42.4	0.6	44.7	1.23	34.3	1.8	17.3
22	0.24	39.1	0.59	43.6	1.08	30.1	1.4	13.5
23	0.22	35.9	0.58	43.2	0.99	27.8	1.1	10.6

Keterangan :

- R1a = Residensial pelanggan daya 450-900 VA
- R1b = Residensial pelanggan daya 1300-2200 VA
- R2 = Residensial pelanggan daya 3300-5500 VA
- R3 = Residensial pelanggan daya 6600 VA ke atas

