



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Studi Susut Energi pada Saluran Distribusi  
Tegangan Menengah 20 kV dengan Variasi Pembebanan  
Konsumen Residensial, Bisnis, dan Industri**

**SKRIPSI**

**ALFAN YUSUF HABIBIE  
0806315811**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Studi Susut Energi pada Saluran Distribusi  
Tegangan Menengah 20 kV dengan Variasi Pembebanan  
Konsumen Residensial, Bisnis, dan Industri**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik**

**ALFAN YUSUF HABIBIE  
0806315811**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
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 : Alfani Yusuf Habibie**

**NPM : 0806315811**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 27 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Alfani Yusuf Habibie  
NPM : 0806315811  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Studi Susut Energi pada Saluran Distribusi  
Tegangan Menengah 20 kV dengan Variasi  
Pembebanan Konsumen Residensial, Bisnis, dan  
Industri

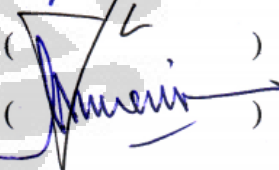
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir I Made Ardita, MT

(  )

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

(  )

Penguji : Ir Amien Rahardjo, MT

(  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selama proses pembuatan skripsi, penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Ir. I Made Ardita, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan seminar ini;
- 2) Umi, Om Ayub, Nenek, dan Pak Adi yang selalu mendukung, memberikan semangat dan doa;
- 3) Sahabat dan teman-teman yang telah banyak mendukung dan membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, Pandu Nugroho, Haris Hakim, Aditya Prihambada, Kurniawan WP, Fajar Alya, Renaldi Krissalam; Muhammad Marudheni; dan
- 4) Semua pihak yang telah membantu penulis selama skripsi yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Saya mohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan dalam penulisan nama ataupun gelar, serta kesalahan pada penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun. Saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Depok, 27 Juni 2012



Alfan Yusuf Habibie

## ABSTRAK

Nama : Alfian Yusuf Habibie  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Studi Susut Energi pada Saluran Distribusi Tegangan Menengah 20 kV dengan Variasi Pembebanan Konsumen Residensial, Bisnis, dan Industri

Saluran distribusi primer merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik mulai dari gardu induk menuju ke gardu distribusi. Konsumsi energi listrik yang meningkat mengakibatkan pembebanan dalam penyulang semakin tinggi. Susut energi yang timbul dalam saluran distribusi primer dapat dianalisis dengan variasi pembebanan menggunakan jenis pelanggan yang berbeda. Analisis sistem distribusi primer dapat dilakukan dengan mengidentifikasi beberapa parameter seperti kapasitas trafo gardu distribusi, saluran penghantar, serta panjang saluran. Penyulang dikatakan mendekati ideal apabila memiliki nilai susut energi dan daya maksimum yang rendah. Susut energi berbanding terbalik dengan nilai efisiensi pada sistem. Standar deviasi juga dapat digunakan untuk menentukan nilai susut di dalam jaringan. Pada penyulang dengan satu jenis pelanggan nilai susut terendah yaitu sebesar 0.16 % pada pelanggan industri. Pada penyulang dengan dua jenis pelanggan yaitu variasi residensial dan industri dengan komposisi 30%:70% memiliki nilai susut terendah sebesar 0.16% dan untuk penyulang dengan tiga jenis pelanggan, nilai susut paling rendah yaitu 0.17% pada variasi beban merata.

Kata Kunci:

Susut Energi , Impedansi, Profil Pelanggan, Efisiensi

## ABSTRACT

Name : Alfani Yusuf Habibie  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Energy Losses Study in 20 kV Medium Voltage Distribution Line with Load Variation Residence, Business, and Industry Consumer

Primary distribution line is part of electrical power transmission from the substation to the distribution substation. Increased electrical energy consumption results enlarge load in feeder. Energy losses built in primary distribution line can be analyzed with load variation that use different type of customers. Primary distribution system analysis can be done by identifying some parameters such as distribution transformer capacity, cable conductor, and length of line. Feeder is said close to the ideal condition if it has low energy losses and low maximum power. Electrical energy losses is inverse proportional with system efficiency. Standard deviation can also be used to determine the energy losses value in the system. In feeder with one type consumer, minimum losses is 0.16 % in industry consumer. In feeder with two type consumers that are residence and industry variation with composition 30%:70%, have minimum losses is 0.16% and for feeder with three type consumers, minimum losses is 0.17% in balance load variation.

Keywords:

Energy Losses, Impedance, Load Profile, Efficiency

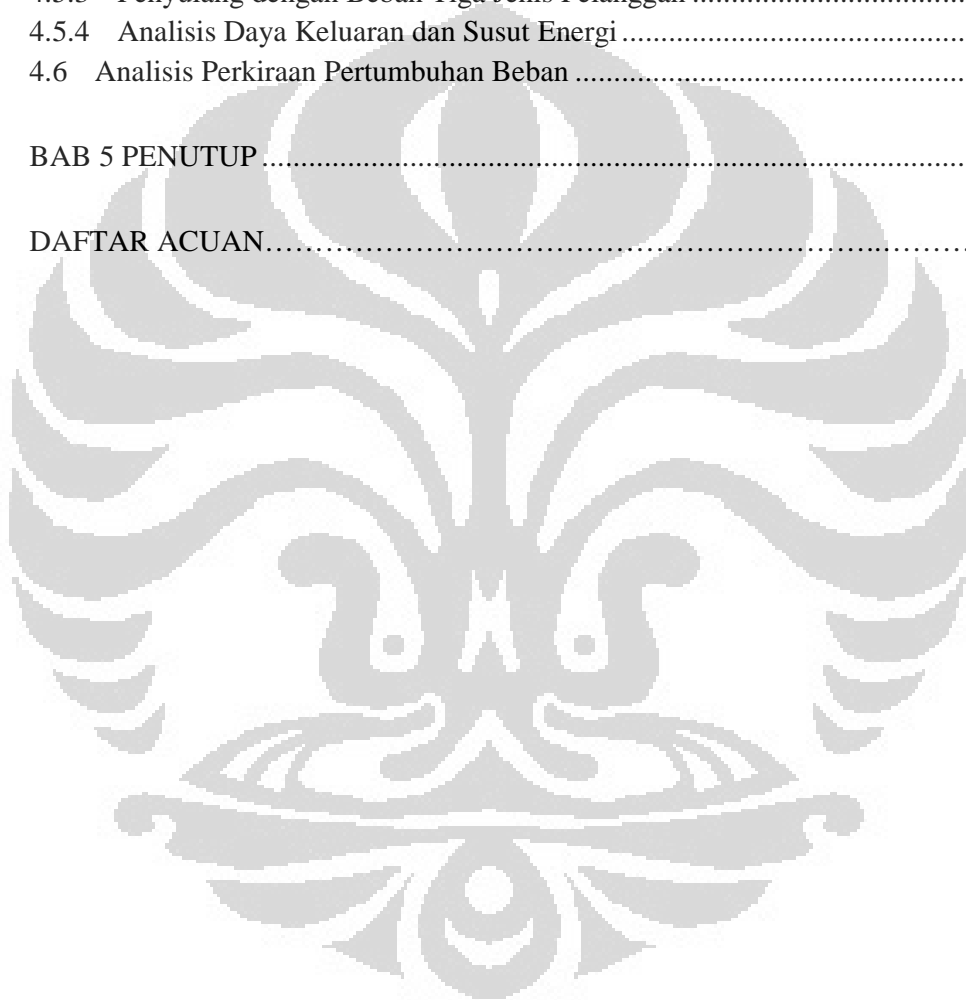
## DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR KURVA .....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penulisan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
BAB 2 DASAR TEORI .....	5
2.1 Dasar Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Struktur Sistem Distribusi.....	7
2.2.1 Gardu Induk .....	7
2.2.2 Saluran Distribusi Primer.....	10
2.2.3 Gardu Distribusi .....	14
2.2.4 Saluran Distribusi Sekunder.....	19



2.3	Karakteristik Sistem Distribusi Sistem Tenaga Listrik .....	20
2.3.1	Kehandalan sistem.....	20
2.3.2	Kualitas sistem dan pembebanan .....	21
2.3.3	Pemeliharaan Sistem.....	22
2.3.4	Keselamatan Sistem dan Publik .....	24
2.4	Susut Energi.....	24
2.4.1	Susut Energi berdasarkan Sifatnya.....	24
2.4.2	Susut Energi Berdasarkan Penyebabnya.....	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		26
3.1	Umum .....	26
3.2	Kerangka Penelitian.....	26
3.3	Tahapan Pra Penelitian .....	27
3.4	Pemilihan Data.....	28
3.4.1	Penyulang Tegangan Menengah 20 kV .....	28
3.4.2	Kabel Distribusi XLPE 240 mm <sup>2</sup> : NA2XSEYBY .....	29
3.4.3	Tipe Pelanggan dalam Saluran Distribusi.....	32
3.5	Pengolahan Data.....	35
3.6	Analisis Data.....	36
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS.....		39
4.1	Pengolahan Data.....	39
4.1.1	Arus maksimum trafo .....	39
4.1.2	Persen pembebanan dari profil pelanggan .....	40
4.1.3	Arus sekunder trafo gardu distribusi .....	40
4.1.4	Arus primer trafo gardu distribusi .....	40
4.1.5	Arus seksi.....	41
4.1.6	Susut Energi .....	41
4.1.7	Daya Masukan.....	42
4.1.8	Daya Keluaran.....	42
4.1.9	Efisiensi Saluran.....	42
4.1.10	Standar Deviasi.....	43
4.2	Penyulang dengan Satu Jenis Pelanggan .....	43
4.2.1	Analisis Daya Keluaran .....	44
4.2.2	Analisis Susut Energi.....	46
4.2.3	Analisis Efisiensi .....	48
4.3	Penyulang dengan Dua Jenis Pelanggan .....	49
4.3.1	Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial-Bisnis. ....	49
4.3.2	Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial-Industri. ....	54

4.3.3	Penyulang dengan Beban Pelanggan Bisnis-Industri .....	59
4.4	Penyulang dengan Tiga Jenis Pelanggan .....	63
4.4.1	Analisis Daya Keluaran .....	66
4.4.2	Analisis Susut Energi .....	68
4.4.3	Analisis Efisiensi .....	69
4.5	Analisis Perbandingan antar Penyulang .....	70
4.5.1	Penyulang dengan Beban Satu Jenis Pelanggan .....	70
4.5.2	Penyulang dengan Beban Dua Jenis Pelanggan .....	72
4.5.3	Penyulang dengan Beban Tiga Jenis Pelanggan .....	74
4.5.4	Analisis Daya Keluaran dan Susut Energi .....	74
4.6	Analisis Perkiraan Pertumbuhan Beban .....	77
BAB 5 PENUTUP .....		79
DAFTAR ACUAN .....		80



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kerangka Penelitian .....	26
Tabel 3.2 Data Karakteristik Penyulang Angin.....	29
Tabel 3.3: Tipe dan Kelas Pelanggan Listrik .....	32
Tabel 3.4: Variasi Pembebanan Penyulang 20 kV .....	37
Tabel .4.1 : Arus Seksi Penyulang .....	41
Tabel .4.2 : Susut Energi Penyulang.....	41
Tabel.4.3 : Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Satu Jenis Pelanggan .....	44
Tabel 4.4 : Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial dan Bisnis .....	50
Tabel 4.5: Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri .....	55
Tabel 4.6: Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri .....	60
Tabel 4.7 : Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri .....	65
Tabel 4.8 : Susut Energi dan Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri .....	66
Tabel 4.9: Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Satu Jenis Pelanggan .....	71
Tabel 4.10: Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Residensial-Bisnis .....	72
Tabel 4.11 : Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Residensial-Industri .....	73
Tabel 4.12 : Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Bisnis-Industri .....	73
Tabel 4.13 : Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Tiga Jenis Pelanggan .....	74
Tabel 4.14 : Data Regresi Linier untuk Hubungan Daya Keluaran dan Susut.....	75
Tabel 4.15 : Pertumbuhan Beban dan Susut Energi pada Penyulang .....	78

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Skema Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2 : Saluran Distribusi Primer.....	11
Gambar 2.3: Konfigurasi Jaringan Radial.....	11
Gambar 2.4: Konfigurasi Jaringan Loop.....	12
Gambar 2.5: Konfigurasi Jaringan Tie Line.....	13
Gambar 2.6: Konfigurasi Jaringan Spindel.....	14
Gambar 2.7: Konfigurasi Jaringan Kluster .....	14
Gambar 2.8: Gardu Konvensional, Gardu Distribusi TP 74 .....	15
Gambar 2.9 : Gardu Besi, Gardu Distribusi TP 4 B .....	16
Gambar 2.10: Gardu Tiang Tipe Portal .....	17
Gambar 2.11: Gardu Tiang Tiga Fasa Tipe Cantol .....	17
Gambar 2.12: Gardu Mobil Pasang Dalam .....	18
Gambar 2.13: Gardu Mobil Pasang Luar .....	19
Gambar 2.14: Saluran Distribusi Sekunder.....	19
Gambar 3.1: Penyulang Angin .....	29
Gambar 3.2 : Struktur Polyethylene dan XLPE .....	31
Gambar 3.3: Ilustrasi Arus Seksi.....	36

## DAFTAR KURVA

Kurva 3.1: Profil Pelanggan Beban Residensial .....	34
Kurva 3.2: Profil Pelanggan Beban Bisnis.....	34
Kurva 3.3: Profil Pelanggan Beban Bisnis.....	34
Kurva 4.1: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri .....	45
Kurva 4.2: Susut Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial, Bisnis, dan Industri .....	46
Kurva 4.3: Effisiensi Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial, Bisnis, dan Industri .....	48
Kurva 4.4: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial dan Bisnis...51	
Kurva 4.5: Susut Energi Penyulang dengan Beban Residensial dan Bisnis .....	52
Kurva 4.6: Effisiensi Penyulang dengan Beban Residensial dan Bisnis .....	53
Kurva 4.7: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri 56	
Kurva 4.8: Susut Energi Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri....57	
Kurva 4.9: Effisiensi Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri.....58	
Kurva 4.10: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri .....	61
Kurva 4.11: Susut Energi Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri.....62	
Kurva 4.12: Effisiensi Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri.....63	
Kurva 4.13: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri .....	67
Kurva 4.14: Susut Energi Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri .....	68
Kurva 4.15: Effisiensi Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri .....	69
Kurva 4.16: Kurva $P_{out}$ vs $P_{susut}$ .....	76
Kurva 4.17: Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Susut Energi .....	78

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan ketenagalistrikan terus mengalami peningkatan sejak Thomas Alpha Edison mampu mengembangkan dan memanfaatkan energi listrik pada abad ke-19. Seiring dengan perkembangan teknologi, peradaban manusia juga mengalami perkembangan yang pesat. Peningkatan taraf hidup seseorang mengakibatkan peningkatan akan konsumsi listrik pada dewasa ini. Jumlah penduduk yang semakin bertambah mengakibatkan permintaan terhadap listrik semakin tajam.

Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Setelah energi listrik dibangkitkan dan dikirim melalui saluran transmisi, energi listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem distribusi. Bagian awal dari sistem distribusi adalah saluran distribusi primer. Saluran distribusi primer merupakan saluran untuk menghantarkan energi listrik dengan tegangan 20 kV. Saluran distribusi primer bermula dari keluaran gardu induk menuju ke gardu – gardu distribusi atau pelanggan tegangan menengah (pelanggan khusus).

Konsumen energi listrik dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis pelanggan seperti residensial, bisnis, industri, sosial, dan publik. Seiring dengan berjalannya waktu, permintaan akan energi listrik semakin meninggi. Pada wilayah residensial, dengan teknologi yang semakin tinggi, konsumsi akan energi listrik juga semakin tinggi. Beberapa peralatan elektronik dan perilaku konsumen yang dapat dikatakan boros semakin mengakibatkan peningkatan beban listrik. Di sektor bisnis, banyak pusat perbelanjaan dibangun, pasar – pasar tradisional mulai tersingkirkan. Konsumsi energi listrik di sektor ini juga sangat besar. Sektor penerangan, lemari pendingin makanan, pendingin ruangan, dan beberapa peralatan yang lain harus dioperasikan selama hampir 24 jam. Di bidang industri, sebagai negara yang berkembang, listrik merupakan bahan pokok yang menempati urutan pertama untuk sektor industri. Apabila sektor energi listrik tidak cukup mumpuni untuk mensuplai suatu wilayah, maka dapat dipastikan

sektor industri di wilayah tersebut tidak akan berkembang. Pertumbuhan pabrik – pabrik membutuhkan energi listrik yang tidak sedikit. Beban listrik industri sebagian besar berasal dari motor – motor listrik yang membutuhkan daya sangat besar. Sementara itu, sektor sosial dan publik juga mengalami kondisi yang serupa. Semakin berkembang teknologi dan taraf hidup masyarakat, semakin besar pula energi listrik yang dibutuhkan.

Untuk meningkatkan kualitas pelayanan dari PLN, maka penulis berusaha untuk menganalisis sistem yang telah beroperasi dengan menekankan pada besarnya susut energi yang terjadi dalam jaringan. Semakin tinggi konsumsi energi listrik maka semakin tinggi pula arus yang mengalir dalam penghantar terutama di penyulang. Dengan demikian, susut energi listrik juga semakin besar. Saluran distribusi primer merupakan komponen yang sangat penting karena berkaitan dengan kepuasan pelanggan, kontinuitas distribusi, dan biaya kelistrikan yang ditanggung oleh PLN. Penulis menganalisis saluran distribusi primer untuk meningkatkan efisiensi dalam hal penyediaan listrik sehingga mampu menekan pengeluaran PLN dan menjamin kepuasan dari sisi pelanggan.

## **1.2 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk menganalisis besarnya susut energi yang timbul dalam saluran distribusi tegangan menengah 20 kV dengan menggunakan variasi beban residensial, bisnis, dan industri.

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memudahkan perumusan dan penyelesaian masalah maka diperlukan adanya pembatasan bahasan sebagai berikut,

- a. Lokasi sampel yang diperoleh berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) Area Pelayanan Cempaka Putih.
- b. Variasi pembebanan dalam penyulang adalah pelanggan residensial, bisnis, dan industri.
- c. Kapasitas dan parameter penyulang yang digunakan untuk variasi pemodelan sama.
- d. Perhitungan susut energi hanya pada penghantar saluran distribusi primer 20 kV.

- e. Menganalisis besarnya susut teknis yang terjadi pada saluran distribusi primer.
- f. Perhitungan dilakukan dengan mengasumsikan beban yang digunakan adalah beban seimbang.

#### **1.4 Metodologi Penulisan**

Metodologi penulisan yang dilakukan sebagai berikut,

- a. Studi Literatur dilakukan dengan membaca beberapa buku, jurnal dan sumber – sumber informasi yang lain sesuai berkaitan dengan topik yang diambil mengenai studi susut energi pada jaringan tegangan menengah 20 kV.
- b. Pengambilan data sekunder. Data sekunder diperoleh dari PLN area pelayanan Cempaka Putih. Data sekunder berupa data aset dan parameter – parameter yang diperlukan dalam melakukan analisis.
- c. Melakukan wawancara dan diskusi dengan beberapa karyawan PLN mengenai kondisi sesungguhnya di lapangan dan penjelasan data – data yang diperoleh.
- d. Membuat model perhitungan dan melakukan analisis hasil yang diperoleh apakah sesuai dengan teori dan fakta yang ada di lapangan.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulis membagi skripsi menjadi lima bagian sebagai berikut,

Bab satu membahas mengenai latar belakang permasalahan yang menjelaskan mengapa analisis susut energi saluran distribusi primer 20 kV diperlukan, tujuan penulisan skripsi, hal – hal yang menjadi batasan masalah, metodologi penulisan yang dilakukan oleh penulis, dan sistematika penulisan skripsi.

Bab dua membahas mengenai dasar teori yang dijadikan acuan oleh penulis. Secara umum beberapa subjek yang dibahas dalam bab ini meliputi dasar sistem tenaga listrik, struktur sistem distribusi mulai dari jaringan tegangan menengah hingga tegangan rendah, karakteristik sistem distribusi tenaga listrik, dan penjelasan mengenai susut energi.



Bab tiga membahas mengenai gambaran dan kerangka penelitian. Alur penelitian dimulai dari tahapan pra penelitian, pemilihan data, pengolahan data, analisis dan penarikan kesimpulan.

Bab empat mengenai salah satu contoh pengolahan data dan analisis variasi pemodelan. Data dianalisis dengan mengelompokkan menjadi tiga bagian yaitu penyulang dengan satu pelanggan, penyulang dengan dua pelanggan, dan penyulang dengan tiga pelanggan. Pada bagian akhir analisis dilakukan dengan membandingkan penyulang satu dengan yang lain.

Bab lima merupakan penutup, yang merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

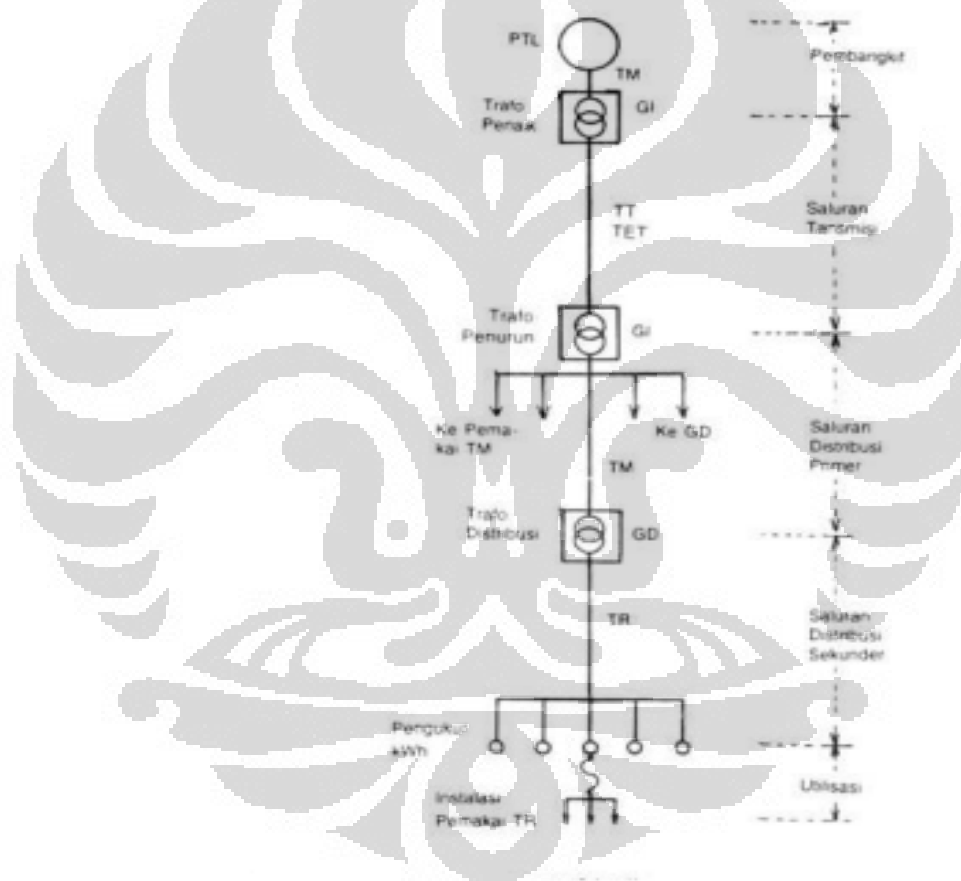


## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Dasar Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan satu kesatuan antara unit pembangkitan energi listrik, unit transmisi, dan unit distribusi. Semua komponen dalam sistem mengusahakan agar tenaga listrik yang dibangkitkan dapat diterima oleh pelanggan dengan optimal. Pada gambar 1 dijelaskan gambar sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



Catatan:

- PTL = Pembangkit Tenaga Listrik
- GI = Gardu Induk
- TT = Tegangan Tinggi
- TET = Tegangan Ekstra Tinggi
- TM = Tegangan Menengah
- GD = Gardu Distribusi
- TR = Tegangan Rendah

Gambar 2.1: Skema Sistem Tenaga Listrik

Sumber :Chris Timotius, <http://file.upi.edu>

Tenaga listrik dibangkitkan oleh generator dalam sistem pembangkitan. Tegangan yang dihasilkan akan dinaikkan oleh trafo penaik tegangan di gardu induk transmisi. Tegangan dinaikkan terlebih dahulu agar susut yang timbul dalam proses transmisi kecil. Kerugian energi yang timbul sebanding dengan nilai kuadrat arus. Dengan daya yang sama, apabila nilai tegangan dinaikkan maka nilai arus semakin kecil dan susut energi juga kecil.

Saluran transmisi dalam sistem tenaga listrik utamanya di Indonesia diklasifikasikan sebagai berikut[1],

a. Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi.

Tegangan ekstra tinggi merupakan besarnya tegangan sistem di atas 245 kV. Tegangan ekstra tinggi di Indonesia bernilai 500 kV. Saluran transmisi tegangan ekstra tinggi ditujukan untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit yang jaraknya jauh dari pusat beban sehingga untuk menghindari susut saluran transmisi, tegangan dinaikkan terlebih dahulu.

b. Transmisi Tegangan Tinggi.

Tegangan tinggi merupakan tegangan sistem di atas 35 kV hingga 245 kV. Tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia bernilai 150 kV. Untuk tegangan 30 kV dan 70 kV mulai ditiadakan. Transmisi tegangan tinggi digunakan untuk transmisi jarak jauh. Perbedaan dengan transmisi tegangan ekstra tinggi adalah jarak yang digunakan. Transmisi tegangan tinggi digunakan untuk jarak yang lebih dekat dibandingkan dengan transmisi tegangan ekstra tinggi.

c. Transmisi Tegangan Menengah.

Tegangan menengah merupakan tegangan sistem di atas 1000 V hingga 35 kV. Tegangan menengah yang berlaku di Indonesia bernilai 6 kV dan 20 kV. Secara berangsur – angsur tegangan 6 kV dihilangkan dan saluran tegangan menengah yang digunakan hanya 20 kV. Tegangan 20 kV akan diturunkan menjadi 220 V untuk disalurkan pada konsumen tegangan rendah atau langsung disalurkan menuju ke konsumen tegangan menengah. Transmisi tegangan menengah dapat disebut juga sebagai sistem distribusi primer.

d. Transmisi Tegangan Rendah.

Tegangan rendah merupakan tegangan sistem di atas 100 V hingga 1000 V. Tegangan rendah yang berlaku di Indonesia bernilai 220/380 V. Transmisi tegangan rendah langsung disalurkan menuju konsumen. Transmisi tegangan rendah dapat disebut juga sebagai sistem distribusi sekunder.

## 2.2 Struktur Sistem Distribusi

Sistem distribusi sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut,

### 2.2.1 Gardu Induk

Gardu induk merupakan bagian dari sistem penyaluran tenaga listrik. Gardu induk memiliki peranan penting dalam pengoperasiannya yang tidak dapat dipisahkan dari sistem transmisi dan distribusi secara keseluruhan. Pada sistem distribusi, gardu induk merupakan bagian awal dari sistem distribusi dimana memiliki fungsi sebagai berikut[2],

- a. Mentransformasikan daya listrik. Daya ditransformasikan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV / 20 kV).
- b. Untuk pengukuran, pengawasan, dan pengaman dalam sistem tenaga listrik.
- c. Untuk sarana telekomunikasi ( pada umumnya untuk internal PLN ).

Jadi gardu induk akan memperoleh energi listrik dari tegangan tinggi, kemudian menurunkan tegangan untuk disalurkan melalui saluran distribusi primer.

Dilihat dari segi manfaat dan kegunaan dari gardu induk, maka peralatan – peralatan pada gardu induk harus memiliki kehandalan serta kualitas yang baik sehingga konsumen tidak merasa dirugikan. Beberapa persyaratan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut,

- Konstruksi sederhana dan kuat.
- Fleksibel.
- Memiliki tingkat kehandalan tinggi.
- Memiliki sistem pengaman tinggi.

Peralatan – peralatan yang terdapat pada gardu induk guna menunjang fungsi dari gardu induk adalah sebagai berikut,

a. Trafo Daya.

Trafo berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dengan mengubah nilai tegangan baik menaikkan atau menurunkan tegangan dengan frekuensi yang sama. Trafo daya pada gardu induk sistem distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan menengah sehingga dapat disalurkan langsung menuju ke konsumen.

b. Trafo Pemakaian Sendiri.

Berbeda dengan trafo daya, trafo pemakaian sendiri digunakan untuk kebutuhan internal gardu induk. Trafo berfungsi sebagai sumber tegangan AC 220/380 Volt, digunakan untuk penerangan di switchyard, gedung kontrol, halaman, alat pendingin, peralatan seperti motor listrik, dan peralatan lainnya.

c. Neutral Grounding Resistor (NGR).

Resistansi yang dipasang pada titik netral trafo yang dihubungkan bintang (Y). Pentanahan tanpa menggunakan impedansi atau lebih dikenal dengan *solid grounding* biasanya digunakan pada bagian primer trafo dengan tegangan sebesar 150 kV dan 500 kV. Pentanahan dengan menggunakan tahanan (*resistance grounding*) digunakan pada bagian sekunder trafo (20 kV).

Pentanahan netral bertujuan untuk membatasi arus gangguan satu fasa ke tanah, membatasi tegangan fasa yang tidak mengalami gangguan, dan membantu pemadaman busur api.

d. Rel (Busbar).

Peralatan yang berfungsi sebagai penghantar, titik pertemuan antara trafo daya, saluran udara tegangan menengah, saluran kabel tegangan menengah, serta komponen listrik lainnya untuk menyalurkan daya listrik. Terdapat beberapa jenis rel seperti rel tunggal, rel ganda dengan satu pemisah tenaga (PMT), rel ganda dengan dua PMT, rel dengan PMT  $1\frac{1}{2}$ .

e. Trafo Arus (CT).

Merupakan trafo instrument yang berfungsi sebagai komponen alat ukur arus. Arus yang memiliki nilai lebih besar akan diturunkan pada kumparan

sekunder agar dapat dibaca pada alat ukur. Arus dari sisi sekunder yang akan dihubungkan pada alat ukur dan rele. Beberapa hal yang harus diperhatikan pada trafo arus adalah ratio, kelas, arus nominal, burden (batas kemampuan CT), dan kejenuhan.

f. Trafo Tegangan (PT).

Merupakan trafo instrument yang berfungsi untuk menurunkan tegangan pada kumparan primer menjadi tegangan yang lebih rendah pada kumparan sekunder dengan skala tertentu. Berdasarkan konstruksinya trafo dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu trafo tegangan induktif dan trafo tegangan kapasitif. Trafo tegangan induktif terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder dimana tegangan pada belitan primer akan menginduksikan tegangan pada belitan sekunder melalui inti. Trafo tegangan kapasitif terdiri dari rangkaian kondensator yang berfungsi sebagai pembangkit tegangan pada sisi tegangan tinggi dari trafo yang menginduksikan tegangan ke kumparan sekunder melalui media kapasitor.

g. Pemutus Tenaga (PMT/CB).

Merupakan peralatan yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. PMT dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal maupun pada saat terjadi gangguan. Pada saat PMT beroperasi, timbul busur api sehingga diperlukan pemadam untuk mencegah terjadinya efek yang lebih besar. Pemadam busur api dapat berupa udara, minyak, gas  $SF_6$ , dan medan magnet. Penggerak PMT juga bermacam – macam seperti PMT dengan penggerak pegas untuk menggerakkan kontak PMT dimana tenaga pegas digerakkan oleh motor listrik, PMT dengan penggerak tenaga hidrolis dari minyak yang dipompa hingga tekanan tertentu, dan PMT dengan penggerak pneumatik dimana PMT digerakkan oleh udara tekanan tinggi.

h. Pemisah (PMS/DS)

Merupakan alat untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. PMS merupakan suatu penghantar yang berupa tembaga persegi sebagai penghubung dari suatu peralatan listrik ke peralatan listrik yang lain. Karakteristik yang harus diperhatikan pada PMS adalah kemampuan

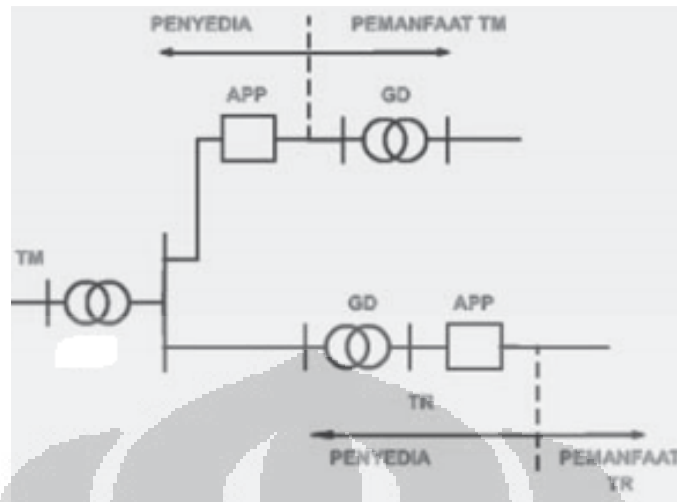
untuk mengalirkan arus, kemampuan tegangan, dan kemampuan untuk menahan arus hubung singkat. PMS dioperasikan dalam keadaan tanpa beban sehingga yang harus dioperasikan terlebih dahulu adalah PMT.

i. Lightning Arrester.

Lightning arrester atau penangkal petir berfungsi sebagai pengaman instalasi peralatan listrik di gardu induk. Lightning arrester berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir (*lightning surge*) pada kawat transmisi atau disebabkan karena surja hubung (*switching surge*). Lightning arrester bersifat isolatif dalam keadaan normal dan dalam keadaan terjadinya gangguan menyebabkan lightning arrester bekerja, lightning arrester akan bersifat konduktif dan menyalurkan arus listrik ke tanah.

### 2.2.2 Saluran Distribusi Primer

Saluran distribusi primer berfungsi untuk menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi. Tegangan pada saluran distribusi primer adalah tegangan menengah 20 kV. Saluran distribusi primer dapat menyuplai pelanggan umum atau pelanggan tegangan rendah dan pelanggan besar atau khusus dimana pelanggan memakai tegangan sebesar 20 kV dari penyulang. Untuk beberapa konsumen besar yaitu konsumen tegangan menengah, saluran distribusi primer akan langsung menyuplai konsumen. Konsumen dengan kebutuhan daya besar memiliki trafo khusus untuk pemakaian sendiri. Untuk memperjelas penjelasan di atas dapat dilihat pada gambar berikut,



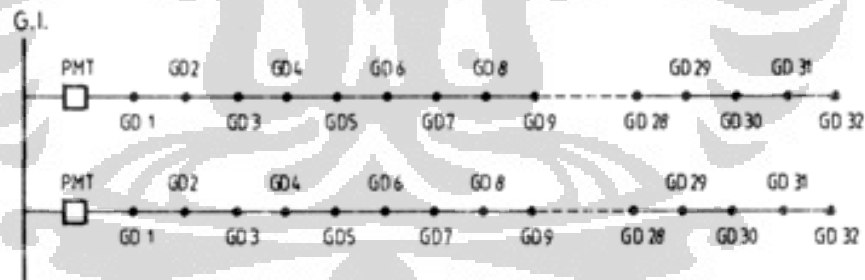
Gambar 2.2: Saluran Distribusi Primer

Sumber : <http://dekop.files.wordpress.com>

Jaringan pada saluran distribusi primer dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan konfigurasi yang memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Berikut penjelasan dari jenis jaringan pada saluran distribusi primer[3],

a. Jaringan radial

Jaringan radial dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 2.3: Konfigurasi Jaringan Radial

Sumber : SPLN 59 tahun 1985

Jaringan radial terdiri dari beberapa penyulang yang menyuplai trafo distribusi dalam satu arah. Konfigurasi jaringan radial merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Disebut radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan dan bercabang ke titik – titik beban yang dilayani.

Sistem ini sangat sederhana dan ekonomis dimana biaya investasinya murah, namun dari segi kehandalan (*reliability*), sistem ini sangat buruk. Apabila

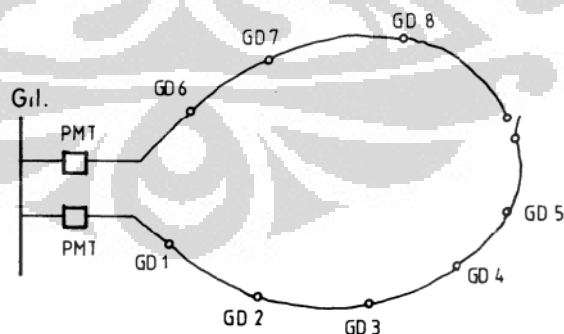


terjadi gangguan pada salah satu titik di sistem tersebut maka seluruh sistem setelah titik gangguan akan terkena dampaknya. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada jaringan radial sangat buruk. Apabila dilakukan proses pemeliharaan pada sebuah titik, maka beberapa bagian dari sistem akan mengalami gangguan. Selain dari segi kehandalan, kualitas listrik relatif buruk. Susut tegangan maupun susut energi pada jaringan radial relatif besar.

Untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan akibat adanya gangguan, pada konfigurasi jaringan radial dilengkapi dengan beberapa peralatan pengaman seperti fuse, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya. Peralatan tersebut memiliki fungsi untuk membatasi daerah yang mengalami gangguan. Tidak semua daerah pada konfigurasi jaringan radial padam apabila terjadi gangguan pada suatu titik. Daerah yang mengalami pemadaman hanya terjadi pada daerah setelah titik gangguan.

#### b. Jaringan loop

Jaringan lingkaran merupakan jaringan distribusi yang tertutup. Pada gambar 2.4 jaringan lingkaran terdiri dari sebuah gardu induk yang menyuplai beberapa konsumen secara melingkar kemudian menuju kembali ke gardu induk. Apabila gangguan terjadi pada salah satu bagian dari sistem, gangguan tersebut dapat diisolir dan dipisahkan dari sistem. Kehandalan dari saluran menjadi lebih baik. Kemungkinan terjadinya gangguan dapat diminimalkan kecuali terjadi gangguan pada banyak titik secara bersamaan.



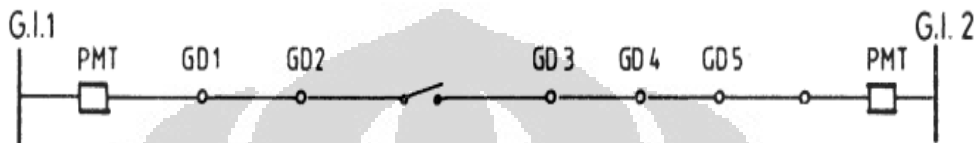
Gambar 2.4: Konfigurasi Jaringan Loop

Sumber :SPLN 59 tahun 1985

#### c. Jaringan tie line

Gambar 2.5 menunjukkan modifikasi dari jaringan radial yaitu jaringan radial ganda atau dikenal dengan sebutan jaringan *tie line*. Setiap gardu distribusi

akan mendapat suplai dari dua penyulang. Hal ini berbeda dengan konfigurasi jaringan radial biasa dimana setiap gardu distribusi hanya memperoleh suplai dari satu penyulang. Apabila terjadi gangguan atau proses pemeliharaan maka jaringan dapat dipindahkan ke penyulang lainnya. Hal ini mengakibatkan kehandalan sistem menjadi lebih baik. Jaringan ini dapat ditemukan pada rumah sakit, bandara, dan pelanggan penting lainnya.



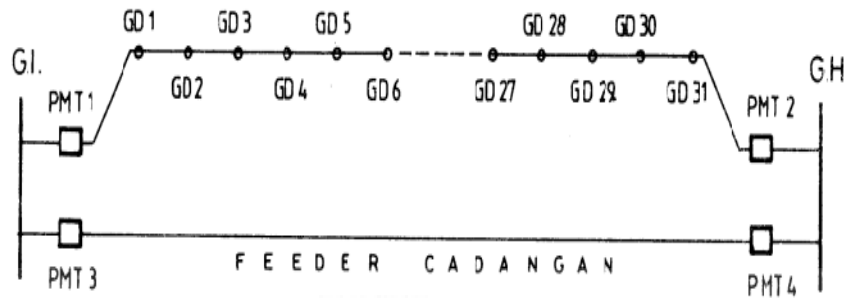
Gambar 2.5: Konfigurasi Jaringan Tie Line

Sumber :SPLN 59 tahun 1985

#### d. Jaringan spindel

Konfigurasi jaringan spindel merupakan hasil perpaduan antara konfigurasi jaringan radial dan konfigurasi jaringan lingkaran (loop). Konfigurasi ini terhubung dengan gardu induk dan gardu hubung. Konfigurasi spindel (gambar 2.6) terdiri dari beberapa penyulang aktif (*working feeder*) dan sebuah penyulang cadangan (*express feeder*). Penyulang aktif merupakan penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban. Penyulang cadangan berfungsi untuk menyuplai daya pada saat penyulang aktif mengalami gangguan. Dalam keadaan normal, penyulang ini tidak terhubung dengan sistem, dengan kata lain dioperasikan tanpa beban. Tegangan yang diberikan berasal dari gardu induk dan berakhir pada gardu hubung. Kontinuitas penyaluran energi listrik menjadi lebih terjamin.

Konfigurasi jaringan spindel pada umumnya digunakan pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM). Namun dalam pengoperasiannya, konfigurasi spindel digunakan untuk jaringan radial.

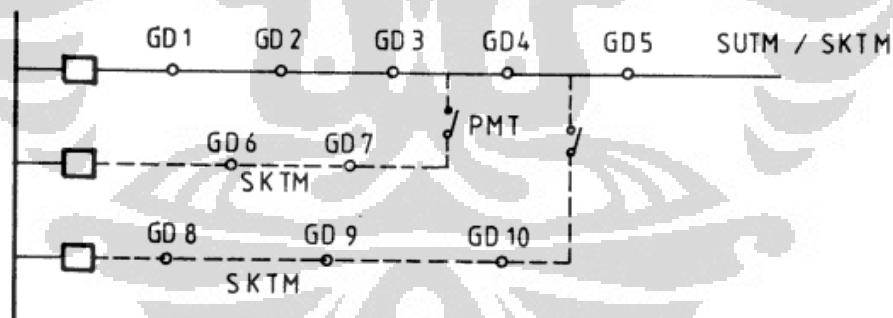


Gambar 2.6: Konfigurasi Jaringan Spindel

Sumber :SPLN 59 tahun 1985

## e. Jaringan kluster

Konfigurasi jaringan kluster atau dikenal disebut juga sebagai jaringan gugus mirip dengan konfigurasi jaringan spindel namun tidak memiliki gardu hubung. Konfigurasi ini memiliki kehandalan yang baik sehingga digunakan untuk kota – kota besar. Konfigurasi jaringan kluster terdiri dari gardu induk, penyuplai utama, penyuplai cadangan, saklar pemutus beban, dan trafo distribusi seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7: Konfigurasi Jaringan Kluster

Sumber :SPLN 59 tahun 1985

Apabila terjadi gangguan pada salah satu penyuplai utama, maka saklar pemutus beban akan bekerja dan memasukkan penyuplai cadangan untuk menggantikan penyuplai utama sehingga kontinuitas aliran listrik tetap terjaga.

## 2.2.3 Gardu Distribusi

Gardu distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik langsung menuju ke konsumen tegangan rendah. Gardu distribusi berfungsi untuk

menghubungkan saluran distribusi primer dengan saluran distribusi sekunder. Trafo yang digunakan memiliki kapasitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kapasitas trafo yang terdapat pada gardu induk, tergantung pada kapasitas total beban yang akan disuplai dan luas daerah pelayanan. Trafo berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220/380 volt.

Berikut jenis – jenis gardu distribusi berdasarkan keperluan dan tujuan penggunaannya[4],

a. Gardu Beton ( Gardu Konvensional )

Merupakan gardu distribusi dimana bangunan pelindung terbuat dari beton, campuran antara pasir, batu, dan semen. Gardu beton termasuk gardu jenis pasang dalam karena pada umumnya semua peralatan penghubung, pemutus, pemisah, dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan. Dalam proses pembangunan, semua peralatan didesain dan diinstalasi berdasarkan ukuran bangunan gardu. Gardu beton memiliki kapasitas yang lebih besar bila dibandingkan dengan jenis gardu yang lain dan dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2.8:Gardu Konvensional, Gardu Distribusi TP 74

Sumber: Dokumentasi PLN Area Cempaka Putih, 2011

Kerugian dari gardu ini adalah lahan yang luas untuk pembangunannya dan biaya investasi yang cukup mahal. Gardu ini digunakan untuk menyuplai daya yang besar, mampu melindungi peralatan yang ada di dalam

gardu dari cuaca yang tidak menentu, dan pengamannya lebih mudah. Gardu beton digunakan untuk pelanggan besar atau khusus seperti industri, perhotelan, usaha, dan perkantoran.

b. Gardu Metal Clad ( Gardu Besi )

Merupakan gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu besi termasuk gardu jenis pasang dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung, pemutus, pemisah, dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan. Gardu besi sering disebut dengan istilah gardu kios. Pembangunan gardu besi lebih cepat bila dibandingkan dengan gardu beton.



Gambar 2.9 : Gardu Besi, Gardu Distribusi TP 4 B

Sumber: Dokumentasi PLN Area Cempaka Putih, 2011

c. Gardu Tiang

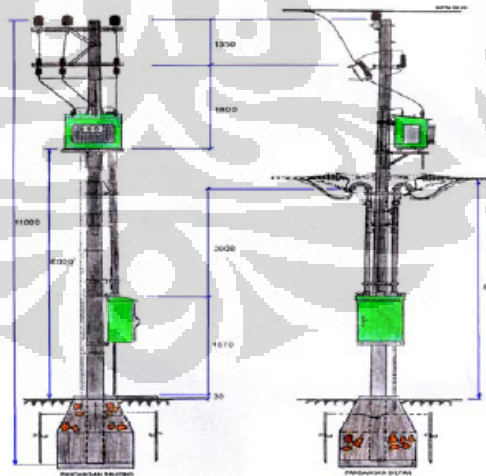
Merupakan gardu distribusi yang bangunan pelindungnya atau penyangganya terbuat dari tiang. Pada umumnya gardu tiang dibagi menjadi dua jenis yaitu gardu tiang tipe portal dan gardu tiang tipe cantol. Trafo distribusi terletak di bagian atas tiang. Gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas mengingat letak trafo distribusi yang berada di atas tiang sehingga tidak mungkin menempatkan trafo berkapasitas besar di atas tiang karena berat trafo yang relatif besar. Untuk gardu tiang dengan trafo satu fasa, kapasitas yang ada maksimum 50 kVA sedangkan gardu tiang dengan trafo tiga fasa kapasitas maksimum 160 kVA. Berikut gambar gardu portal,



Gambar 2.10: Gardu Tiang Tipe Portal

Sumber: Dokumentasi PLN Area Cempaka Putih, 2011

Untuk gardu tiang tipe cantol, gardu cantol satu fasa dilengkapi dengan trafo CSP (*completely self protected*). Sedangkan untuk pelayanan sistem tiga fasa, digunakan tiga buah trafo 1 fasa dengan titik netral digabungkan dari tiap – tiap trafo menjadi satu. Berikut gambar gardu cantol untuk sistem tiga fasa,



Gambar 2.11: Gardu Tiang Tiga Fasa Tipe Cantol

Sumber: Dyan Bayu, 2009

Meski memiliki kapasitas daya yang lebih kecil bila dibandingkan dengan gardu beton dan gardu besi, namun gardu tiang dari segi biaya investasi jauh lebih murah dan waktu pembangunan yang lebih cepat.

d. Gardu mobil

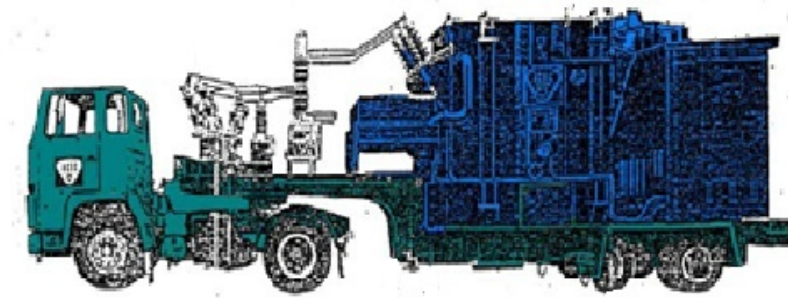
Merupakan gardu distribusi yang terletak di atas sebuah mobil sehingga bisa dipindahkan sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Gardu mobil berfungsi untuk melayani pemakaian yang bersifat sementara dan mendesak. Pada umumnya terdapat dua jenis gardu mobil, yaitu gardu mobil jenis pasang dalam (*mobil box*) dimana semua peralatan gardu berada di dalam bangunan besi yang mirip dengan gardu besi. Berikut gambarnya,



Gambar 2.12: Gardu Mobil Pasang Dalam

Sumber : Dokumentasi pribadi, 2011

Tipe yang kedua adalah gardu mobil pasang luar, yaitu gardu yang berada di atas mobil trailer. Bentuk fisik gardu mobil pasang luar lebih panjang dan semua peralatan penghubung, pemutus, pemisah, dan trafo distribusi tampak dari luar. Gambar 2.13 memperlihatkan gardu distribusi jenis trailer. Pada umumnya gardu mobil pasang luar memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan gardu mobil pasang dalam. Hal ini dapat dilihat dari konstruksi peralatan yang digunakan. Pada setiap gardu distribusi umumnya terdiri dari empat bagian yaitu bagian penyambungan atau pemutusan sisi tegangan tinggi, bagian pengukuran sisi tegangan tinggi, bagian trafo distribusi dan bagian panel sisi tegangan rendah.

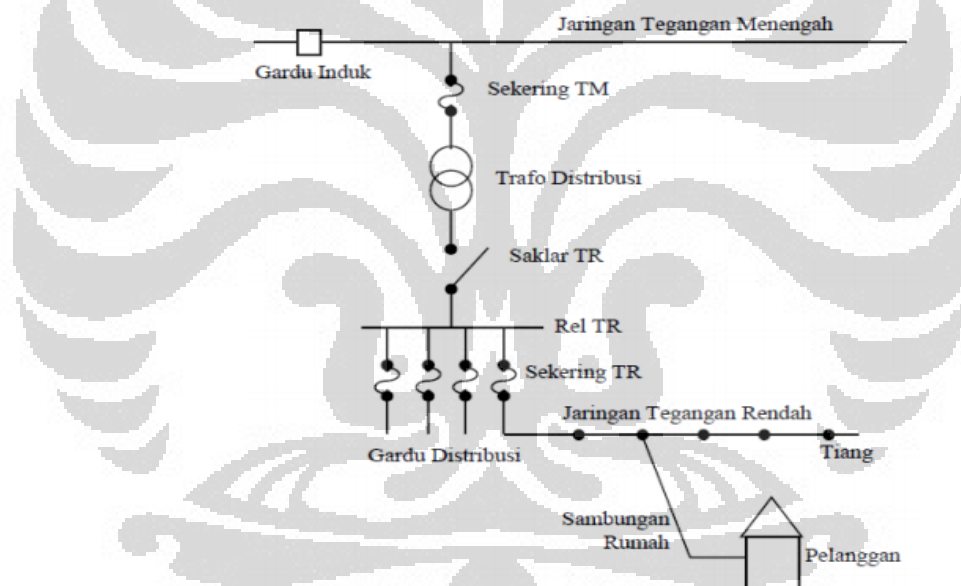


Gambar 2.13: Gardu Mobil Pasang Luar

Sumber: Dyan Bayu, 2009

#### 2.2.4 Saluran Distribusi Sekunder

Saluran distribusi sekunder berfungsi untuk menyuplai tenaga listrik ke konsumen. Berikut struktur saluran distribusi sekunder,



Gambar 2.14: Saluran Distribusi Sekunder

Sumber : Ahmad Ardiansyah, 2010

Konsumsi energi listrik dalam sebuah sistem dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti perkembangan penduduk, perkembangan perekonomian, maupun perkembangan teknologi. Untuk dapat mengetahui seberapa besar konsumsi energi listrik, diperlukan klasifikasi sebagai berikut,

- Sektor rumah tangga
- Sektor bisnis
- Sektor publik



- Sektor industri
- Sektor sosial

Sistem tegangan distribusi sekunder bermacam – macam tergantung pada standar dan jumlah fasa yang digunakan. Berikut macam – macam tegangan distribusi sekunder berdasarkan jumlah kawatnya,

- Sistem satu fasa dua kawat 120 Volt
- Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt
- Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt
- Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt
- Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
- Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt
- Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 Volt
- Sistem tiga fasa empat kawat 265/460 Volt
- Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

PLN menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Pengguna listrik yang tidak menggunakan jasa PLN menggunakan salah satu sistem di atas sesuai dengan standar yang berlaku.

### **2.3 Karakteristik Sistem Distribusi Sistem Tenaga Listrik**

Sistem distribusi merupakan sistem yang langsung berhubungan dengan pelanggan. Mutu listrik yang dikirimkan ke pelanggan harus diperhatikan agar tidak mengecewakan pelanggan. Berikut parameter – parameter yang menentukan kualitas dari sistem distribusi,

#### **2.3.1 Keandalan sistem**

Sistem Sistem distribusi yang handal dapat menyalurkan listrik selama 24 jam penuh, tidak mengalami gangguan sama sekali. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen seharusnya tidak sering mengalami pemutusan akibat adanya gangguan ataupun hal – hal yang telah direncanakan seperti pemeliharaan. Bila pemutusan dilakukan untuk pemeliharaan hendaknya pelanggan mendapatkan informasi terlebih dahulu sehingga tidak ada pihak yang dirugikan.

Kontinuitas dapat diukur dengan jumlah gangguan yang terjadi dalam periode tertentu (umumnya selama satu tahun). Selain jumlah gangguan, lamanya gangguan berlangsung juga menjadi parameter. Pada umumnya kontinuitas

penyaluran tenaga listrik yang berkualitas diprioritaskan untuk beban – beban yang dianggap vital dan tidak dikehendaki sama sekali terjadinya pemadaman. Pelanggan yang lebih diprioritaskan meliputi rumah sakit, instalasi militer, pusat pelayanan komunikasi dan beberapa pelanggan lainnya. Selain harus tersedianya tenaga listrik dengan jumlah yang cukup, kualitas sistem distribusi terutama saluran transmisi juga harus dapat diandalkan.

### 2.3.2 Kualitas sistem dan pembebanan

Kualitas sistem erat kaitannya dengan kualitas tegangan yang dikirimkan ke konsumen. Kualitas tegangan yang sampai ke konsumen memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi tertentu. Oleh karena itu diperlukan stabilisator tegangan (*voltage regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk mengatur nilai tegangan sehingga kualitas tegangan yang sampai ke konsumen stabil. Kestabilan tegangan harus berada dalam batas +5% dan -10%. Tegangan yang berlaku di Indonesia untuk tegangan rendah bernilai sebesar 220 volt untuk tegangan fasa ke netral. Berikut parameter – parameter untuk menentukan suatu sistem dikatakan dalam keadaan stabil[5],

#### a. Dip tegangan

Merupakan fenomena dimana tegangan turun dalam periode waktu yang sangat singkat, kira – kira 3 cycle. Nilai penurunan tegangan mendekati 100% dari nilai nominal. Fenomena ini disebabkan karena gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada saluran udara.

#### b. Ayunan tegangan

Merupakan fenomena naik turunnya tegangan berulang kali dalam periode waktu beberapa puluh detik. Fenomena ini pada umumnya disebabkan oleh adanya pekerjaan seperti mengelas.

#### c. Drop voltage

Tegangan jatuh selama beberapa detik tetapi tidak terjadi berulang kali dalam waktu kurang dari satu menit. Pada umumnya disebabkan oleh arus start motor yang besar atau tanur listrik.

d. Kemiringan tegangan

Merupakan fenomena dimana tegangan pasokan tidak simetris. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada motor listrik sehingga umur motor listrik juga akan berkurang.

e. *DC off set*

Merupakan kandungan komponen tegangan searah yang mengakibatkan tegangan pasokan bergeser ke atas atau ke bawah. Hal ini mengakibatkan pemanasan berlebihan pada mesin arus bolak balik. *DC off set* dapat ditimbulkan karena peralatan elektronika daya seperti konverter daya.

Selain tegangan, hal yang harus diperhatikan adalah frekuensi. Frekuensi listrik hendaknya tidak berubah – ubah agar tidak mengganggu kenyamanan konsumen. Syarat minimum perubahan nilai frekuensi adalah satu persen. Nilai frekuensi yang digunakan di Indonesia yaitu 50 hertz.

Selain kualitas listrik, dari segi pembebanan, penyebaran dan perluasan pelanggan yang dilayani hendaknya seimbang. Untuk sistem tegangan bolak balik tiga fasa, faktor keseimbangannya pada masing – masing fasa perlu diperhatikan. Pengembangan daerah beban harus fleksibel, tidak hanya berdasarkan pada kebutuhan beban sesaat namun perlu diperhatikan mengenai pengembangan beban yang harus dilayani untuk jangka panjang. Tidak hanya dalam hal penambahan kapasitas beban, namun kapasitas peralatan untuk menyuplai pelanggan dijaga agar tidak melebihi kemampuan peralatan. Pelayanan terhadap pelanggan juga harus memperhatikan kondisi dan situasi lingkungan. Hal ini diperlukan untuk menentukan jenis atau tipe sistem distribusi yang sesuai untuk lingkungan yang bersangkutan misalnya tentang konduktor yang dipakai, konfigurasi, tata letak, maupun dari segi estetika.

### 2.3.3 Pemeliharaan Sistem

Proses pemeliharaan secara berkala mutlak diperlukan dalam sistem. Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwalkan secara berkelanjutan sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik. Proses pemeliharaan dapat dilakukan dengan membuat jadwal pemeliharaan baik pemeliharaan harian, mingguan, bulanan, atau bahkan tahunan. Selain itu, pengadaan material listrik yang dibutuhkan untuk menunjang sistem distribusi

hendaknya sesuai dengan spesifikasi material yang dipakai. Tujuan dilakukan proses pemeliharaan adalah sebagai berikut,

- a. Untuk meningkatkan kehandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), dan efisiensi.
- b. Memperpanjang umur peralatan.
- c. Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan pada peralatan.
- d. Mengurangi lama waktu padam akibat sering terjadinya gangguan.
- e. Meningkatkan keamanan (*safety*) peralatan.

Jenis pemeliharaan dapat dibedakan sebagai berikut,

a. *Predictive Maintenance ( Conditional Maintenance)*

Pemeliharaan yang dilakukan dengan memperkirakan waktu terjadinya kerusakan atau kegagalan pada peralatan listrik. Dengan memperkirakan kemungkinan terjadinya kegagalan, dapat diketahui tanda – tanda kerusakan secara dini. Proses pemeliharaan membutuhkan pekerja dan peralatan yang mampu memantau dan menganalisis terjadinya kerusakan. Proses monitoring kondisi peralatan pada umumnya dilakukan secara online baik pada saat peralatan beroperasi maupun tidak. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan kondisi (*conditional maintenance*).

b. *Preventive Maintenance ( Time Base Maintenance )*

Pemeliharaan yang dilakukan sebagai bentuk dari tindakan pencegahan agar kerusakan alat tidak terjadi secara tiba – tiba. Selain itu, pemeliharaan juga bertujuan untuk mempertahankan kinerja peralatan agar sesuai dengan umur teknisnya. Kegiatan pemeliharaan dilakukan secara berkala berdasarkan instruksi manual pabrik, standard yang ada, dan pengalaman operasi di lapangan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan waktu (*time base maintenance*).

c. *Corrective Maintenance ( Curative Maintenance )*

Pemeliharaan yang dilakukan dengan memperbaiki serta menyempurnakan peralatan yang mengalami gangguan agar peralatan listrik mampu bekerja kembali secara optimal. Pemeliharaan ini disebut juga sebagai *curative maintenance* yang berupa *trouble shooting*, penggantian bagian – bagian yang mengalami kerusakan atau kurang berfungsi dengan terencana.

d. *Breakdown Maintenance*

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

#### 2.3.4 Keselamatan Sistem dan Publik

Perlindungan terhadap penduduk merupakan hal yang harus diperhatikan selain masalah teknis dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Diperlukan adanya rambu – rambu pengaman dan peringatan untuk masyarakat awam untuk mengetahui bahaya akan listrik. Daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang pengaman untuk dapat mengisolir gangguan tersebut sehingga konsumen tidak terganggu dan gangguan dapat diatasi dengan cepat dan tepat.

Sistem proteksi dari jaringan harus memiliki kualitas yang baik. Syarat mutlak yang harus dimiliki meliputi sensitivitas yaitu kemampuan untuk mendeteksi adanya gangguan, selektivitas yaitu kemampuan untuk memilah bagian yang mengalami gangguan dan melepaskannya dari sistem, respons yang tinggi, handal, dan harga yang ekonomis. Hal ini mencegah gangguan yang terjadi dalam jaringan meluas dan menimbulkan efek yang lebih buruk. Pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan dilakukan secara terjadwal agar dapat dipastikan sistem bekerja dengan optimal.

### 2.4 Susut Energi

Susut merupakan kerugian sebagai akibat adanya selisih antara penerimaan dan pengeluaran. Susut energi listrik adalah kerugian akibat terjadinya selisih antara pembelian energi dengan penjualan energi ke pengguna. Berikut ini klasifikasi susut energi,

#### 2.4.1 Susut Energi berdasarkan Sifatnya

Berdasarkan sifatnya, susut energi dibedakan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut,

a. **Susut Konstan**

Merupakan susut yang timbul secara konstan dan terus menerus pada sistem distribusi yang tidak dipengaruhi oleh perubahan beban. Contoh dari susut konstan adalah susut besi trafo, kwh meter, kebocoran isolasi, dan sebagainya.

#### b. Susut Variabel

Merupakan susut yang timbul dan memiliki nilai yang berubah – ubah pada sistem distribusi yang dipengaruhi oleh fluktuasi (perubahan) beban. Contoh dari susut variabel adalah susut pada penghantar.

### 2.4.2 Susut Energi Berdasarkan Penyebabnya

#### a. Susut Teknis

Merupakan susut yang timbul pada sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan oleh faktor teknis, yang sangat dipengaruhi oleh fluktuasi dan sifat beban seperti ukuran konduktor, panjang saluran, sistem tegangan yang dipakai, dan sebagainya. Susut energi yang timbul diakibatkan karena unsur material. Pada sistem distribusi, susut teknis dikelompokkan menjadi dua yaitu susut tegangan menengah (TM) dan susut pada tegangan rendah (TR). Susut pada tegangan menengah meliputi susut pada jaringan atau saluran tegangan menengah dan susut pada gardu atau trafo. Susut tegangan rendah terdiri dari susut pada jaringan atau saluran tegangan rendah dan sambungan rumah.

#### b. Susut non teknis

Merupakan susut yang diakibatkan oleh unsur bukan material. Susut non teknis bersifat variabel tergantung dari penyebabnya sebagai berikut,

- Kesalahan pembacaan pada kwh meter.
- Kesalahan atau kerusakan pada CT, PT, atau kwh meter.
- Penggunaan energi listrik secara illegal oleh pelanggan ataupun bukan pelanggan.
- Kesalah perhitungan pemakaian kwh pelanggan.
- Kesalahan administrasi.
- Kesalahan proses sistem komputer.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya susut energi yang terjadi di jaringan tegangan menengah 20 kV. Besarnya susut energi akan dibedakan menjadi beberapa jenis sesuai dengan beberapa tipe pelanggan. Dengan mengkombinasikan tipe pelanggan yang berbeda maka akan didapat susut energi yang besarnya berbeda pada jaringan tegangan menengah.

Penelitian susut energi hanya difokuskan pada susut di saluran tegangan menengah yang bermula dari gardu induk (salah satu output trafo di gardu induk) hingga gardu distribusi (bagian input dari trafo gardu distribusi). Penelitian dilakukan di salah satu area pelayanan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yakni PLN area pelayanan Cempaka Putih.

Pada penelitian ini disusun metode penelitian yang bertujuan untuk mempermudah proses pengumpulan data dari PLN, pengolahan data serta analisis yang akan dibuat. Metode penelitian digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian.

### 3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian menggambarkan proses tahapan penelitian mulai dari awal hingga akhir. Kerangka penelitian bermanfaat untuk mengetahui segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut kerangka penelitian yang telah disusun,

Tabel 3.1 Kerangka Penelitian

Pra Penelitian	Pemilihan dan Pengolahan Data	Analisis Data
Studi pustaka meliputi: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ textbook</li> <li>➤ jurnal ilmiah</li> <li>➤ laporan kerja praktek</li> <li>➤ laporan skripsi</li> <li>➤ artikel dan semua informasi terkait</li> </ul>	Data dari PLN meliputi <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ data aset dari bagian pemeliharaan</li> <li>➤ data konsumsi energi dan kurva beban harian dari bagian transaksi energi</li> <li>➤ pembuatan metode perhitungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ menampilkan kurva susut harian</li> <li>➤ analisis besarnya susut energi berdasarkan tipe pelanggan</li> <li>➤ penarikan kesimpulan</li> <li>➤ penyusunan laporan</li> </ul>

### 3.3 Tahapan Pra Penelitian

Sebelum penelitian dimulai, hal yang perlu dilakukan adalah mencari informasi – informasi yang mendukung penelitian. Tahapan persiapan dimulai dengan studi literatur dan diskusi untuk mendapatkan informasi yang terkait dengan penelitian. Studi literatur bertujuan untuk mengkaji teori – teori yang mendasari ruang lingkup penelitian serta prosedur – prosedur penelitian. Studi literatur dilakukan selama penelitian berlangsung mulai dari tahap pra penelitian hingga akhir penelitian sehingga diperoleh kesimpulan dari tujuan penelitian. Beberapa teori yang perlu diperhatikan sebagai berikut,

- Sistem tenaga listrik secara keseluruhan
- Sistem distribusi primer
- Jenis konfigurasi sistem
- Karakteristik sistem distribusi
- Susut energi

Selain studi literatur, pencarian data yang dibutuhkan dalam penelitian mulai dilakukan. Pengambilan data dilakukan di PLN area Cempaka Putih dan beberapa data tambahan didapat di PLN Distribusi Jakarta Raya (DISJAYA).

Data yang dibutuhkan meliputi,

a. Data Aset

Data aset dibutuhkan untuk mengetahui gambaran wilayah PLN area Cempaka Putih. Data aset meliputi data jumlah penyulang, jumlah gardu distribusi, panjang penyulang, kapasitas trafo gardu distribusi, dan jenis penghantar. Data aset digunakan untuk mengetahui jarak antar gardu distribusi sehingga besarnya salah satu parameter untuk perhitungan yaitu impedansi penghantar dapat diketahui. Data aset didapat dari bagian pemeliharaan PLN area Cempaka Putih.

b. Data Konsumsi Energi Listrik

Data konsumsi energi listrik dibutuhkan untuk mengetahui besarnya pembebanan pada masing – masing penyulang dan gardu distribusi. Data konsumsi energi listrik yang diperoleh yaitu data selama tahun 2011. Data konsumsi energi listrik per bulan untuk masing – masing penyulang dapat



diketahui. Data konsumsi energi listrik didapat dari bagian transaksi energi PLN area Cempaka Putih.

c. Data pelanggan

Data pelanggan yang dibutuhkan merupakan data konsumsi energi listrik harian pelanggan sehingga dapat dilihat perilaku konsumsi energi listrik. Data pelanggan yang diambil adalah jumlah pelanggan kategori residensial, bisnis, dan industri. Selain itu data pelanggan juga berupa profil pelanggan didapat dari laporan akhir profil beban PLN tahun 2007. Masing – masing data pelanggan akan diolah dan dikombinasikan satu sama lain untuk mendapatkan besar susut energi listrik dalam penyulang.

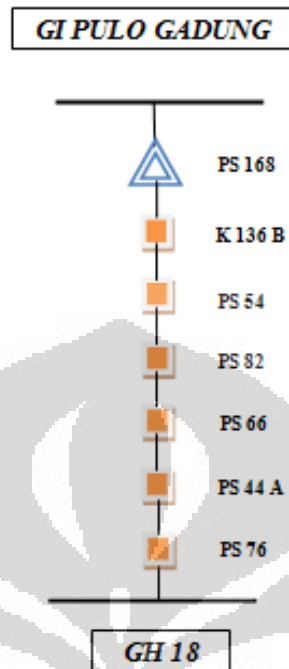
d. Data standar

Data standar merupakan data spesifikasi teknik meliputi tata cara dan metode yang disusun berdasarkan kesepakatan antara pihak – pihak yang terkait. Data standar memperhatikan keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan, pengetahuan dan teknologi serta pengalaman. Standar yang dijadikan acuan dalam penulisan adalah Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) dan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000). Standar ini digunakan sebagai salah satu landasan teori dan analisis penulis.

### **3.4 Pemilihan Data**

#### **3.4.1 Penyulang Tegangan Menengah 20 kV**

Studi susut energi di jaringan tegangan menengah dilakukan dengan menganalisis salah satu penyulang yang ada di wilayah PLN Cempaka Putih. Penyulang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk dengan gardu – gardu distribusi hingga sampai ke gardu hubung. Untuk pelanggan – pelanggan khusus dengan kapasitas daya yang besar di atas 200 kVA terdapat trafo khusus untuk menurunkan tegangan 20 kV dari penyulang menuju ke beban. Penyulang yang dianalisis merupakan penyulang yang memiliki kelengkapan data lebih baik dibandingkan dengan yang lain. Penyulang yang dipilih sebagai objek studi adalah penyulang angin. Berikut ini karakteristik penyulang angin,



Gambar 3.1:Penyulang Angin

Penyulang angin mendapat pasokan dari gardu induk Pulomas. Terdapat enam buah gardu umum dan sebuah gardu portal pada penyulang angin. Gardu distribusi terakhir terhubung dengan gardu hubung 18. Panjang penyulang mulai dari gardu induk Pulomas hingga gardu hubung adalah 7500 meter. Pelanggan yang dilayani secara keseluruhan merupakan pelanggan tegangan rendah. Tabel berikut menunjukkan beberapa komponen penyulang angin,

Tabel 3.2 Data Karakteristik Penyulang Angin

NO	Dari	Ke	Panjang (meter)	Kapasitas Trafo
1	GI Pulomas	PS 168	3145	400 kVA
2	PS 168	K 136 B	511	1000 kVA
3	K 136 B	PS 54	379	400 kVA
4	PS 54	PS 82	160	630 kVA
5	PS 82	PS 66	546	400 kVA
6	PS 66	PS 44 A	451	1000 kVA
7	PS 44 A	PS 76	380	630 kVA
	PS 76	GH 18	1937	

### 3.4.2 Kabel Distribusi XLPE 240 mm<sup>2</sup> : NA2XSEYBY

Kabel distribusi pada umumnya terdiri dari konduktor atau penghantar, lapisan penghantar yang terbuat dari semikonduktor, lapisan isolasi, selubung dalam, dan selubung luar. Penghantar yang sering dipakai terbuat dari aluminium

ataupun tembaga. Penghantar memiliki nilai resistansi yang mempengaruhi kapasitas arus maksimal yang dapat dibawa oleh kabel. Besarnya resistansi suatu penghantar sangat dipengaruhi oleh faktor suhu. Berikut persamaan untuk menentukan besarnya nilai resistansi berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000,

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

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

Ket :  $R_t$  = resistansi kabel pada suhu  $t$  derajat Celcius ( )

$R_u$  = resistansi kabel pada suhu 20derajat Celcius, (terlampir)

$t$  = suhu penghantar dalam derajat Celcius

$l$  = panjang penghantar dalam meter

Besarnya nilai resistansi akan mempengaruhi besarnya susut energi yang terjadi pada saluran. Resistansi merupakan salah satu komponen dari impedansi. Semakin besar nilai resistansi maka semakin besar nilai impedansi dan nilai susut yang timbul juga semakin besar. Demikian juga dengan nilai arus dimana semakin besar nilai arus yang mengalir dalam penghantar maka semakin besar susut yang ditimbulkan. Nilai daya yang hilang dalam sebuah penghantar dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut,

$$P_{\text{susut}} = I^2 R \quad (\text{persamaan 3.3})$$

dimana :

$P_{\text{susut}}$  = daya yang hilang dalam satu fasa (Watt)

$I$  = arus yang mengalir dalam penghantar (Ampere)

$R$  = resistansi penghantar ( )

Sedangkan untuk energi yang hilang dalam penghantar merupakan besarnya daya yang hilang selama periode waktu tertentu, dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$E_{\text{susut}} = P.t \quad (\text{persamaan 3.4})$$

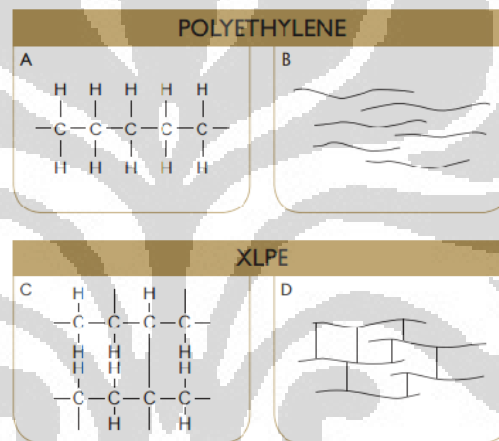
dimana :

$E_{\text{susut}}$  = energi yang hilang satu fasa (Joule)

$P$  = daya yang hilang dalam penghantar (Watt)

$t$  = waktu (Sekon)

XLPE merupakan kependekan dari *cross link polyethylene* atau dalam bahasa Indonesia dikenal dengan polietilen ikat silang. Polyethylene memiliki struktur molekul linier seperti terlihat pada gambar A. Polyethylene tidak terikat secara kimia yang mudah rusak pada suhu tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar B. Molekul XLPE terikat dalam jaringan tiga dimensi, memiliki ketahanan yang kuat terhadap deformasi pada suhu tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar C dan D. XLPE dihasilkan dari polietilen tekanan tinggi dengan peroksida organik sebagai aditif. Aplikasi panas dan tekanan tinggi diberikan pada saat proses fabrikasi sehingga saling terikat menyilang. Berikut gambar 3.2 untuk memperjelas pemahaman di atas,



Gambar 3.2 : Struktur Polyethylene dan XLPE

Sumber : <http://ucable.com.my>

Kabel dengan isolasi XLPE dapat mencapai tegangan operasi 400kV[6].

Beberapa kelebihan dari XLPE sebagai berikut

- Resistansi yang tinggi terhadap deformasi panas mengakibatkan kabel memiliki kapabilitas untuk mengalirkan arus yang cukup besar dalam kondisi normal (90<sup>0</sup>C), bahaya (130<sup>0</sup>C), dan hubung singkat (250<sup>0</sup>C).
- Memiliki karakteristik fisik dan elektrik yang baik.
- Mudah dalam instalasi.
- Tidak membutuhkan pelindung metalik untuk mencegah terjadinya korosi.

Salah satu kabel XLPE 240 mm<sup>2</sup> yang digunakan oleh PLN untuk menyalurkan listrik dengan tegangan 20 kV adalah kabel NA2XSEYBY. Nama NA2XSEYBY merupakan kode pengenalan. Berikut penjelasannya[7],

- NA : kabel standar dengan menggunakan aluminium sebagai penghantar. Bila menggunakan tembaga maka kodenya adalah huruf N.
- 2X : menunjukkan isolasi yang digunakan yaitu isolasi XLPE.
- SE : menunjukkan adanya lapisan logam tembaga pada masing – masing inti.
- Y : menunjukkan selubung dalam PVC.
- B : menunjukkan perisai baja pita galvanis.
- Y : menunjukkan selubung luar PVC.

### 3.4.3 Tipe Pelanggan dalam Saluran Distribusi

Seperti yang telah dijelaskan di bab dua, tipe pelanggan listrik di Indonesia terbagi menjadi lima pelanggan yaitu tipe residensial, bisnis, industri, sosial, dan pemerintah. Masing – masing tipe pelanggan memiliki beberapa kelas dengan kapasitas daya yang besarnya berbeda – beda. Berikut akan ditunjukkan tipe dan kelas pelanggan listrik,

Tabel 3.3: Tipe dan Kelas Pelanggan Listrik

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

Dalam penelitian, kategori pelanggan yang akan dibahas adalah kategori pelanggan residensial, bisnis, dan industri. Masing – masing pelanggan memiliki karakteristik penggunaan listrik yang berbeda satu sama lain. Untuk menganalisis besarnya susut energi yang terjadi dalam saluran penyulang 20 kV diperlukan profil masing – masing pelanggan.

Profil pelanggan (*load profile*) merupakan grafik yang menunjukkan besarnya pemakaian energi listrik dalam periode tertentu. Profil pelanggan dapat dianalisis dalam bentuk harian, bulanan, atau bahkan per jam. Profil pelanggan berbeda untuk jenis pelanggan yang berbeda (residensial, bisnis, industri, sosial, dan publik). Perbedaan juga bisa disebabkan oleh hari tertentu, misalnya profil pelanggan akan berbeda antara hari kerja dengan hari libur. Dengan menganalisis profil pelanggan, dapat diketahui periode waktu saat beban sedang tinggi dan saat beban sedang rendah.

Profil pelanggan yang diperoleh penulis berasal dari laporan akhir profil beban PLN tahun 2007 (terlampir). Profil pelanggan dikombinasikan dengan jumlah pelanggan di Cempaka Putih untuk masing – masing jenis pelanggan sehingga didapat profil pelanggan baru untuk dijadikan sebagai bahan acuan. Persen pembebanan tiap jam untuk masing – masing jenis pelanggan dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut,

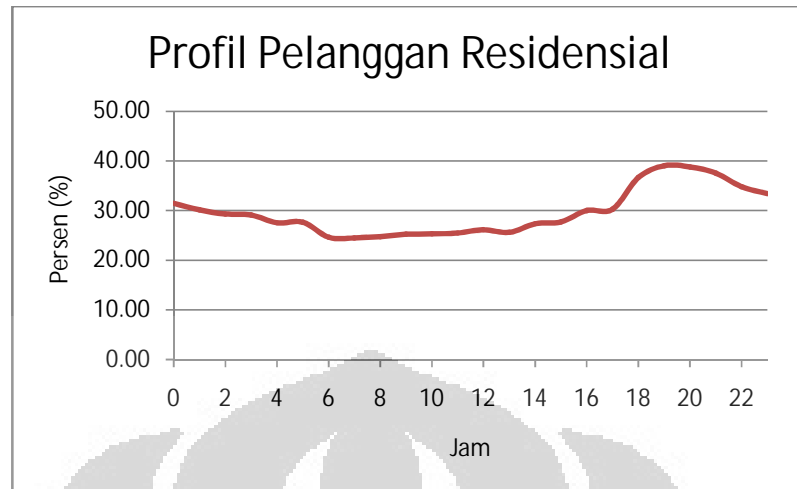
$$\% \text{ pembebanan} = \frac{\text{Jumlah pelanggan}}{\text{Kapasitas terpasang} \times \text{PF}} \times \text{Daya rata - rata (Watt)} \times 100\%;$$

(Persamaan 3.5)

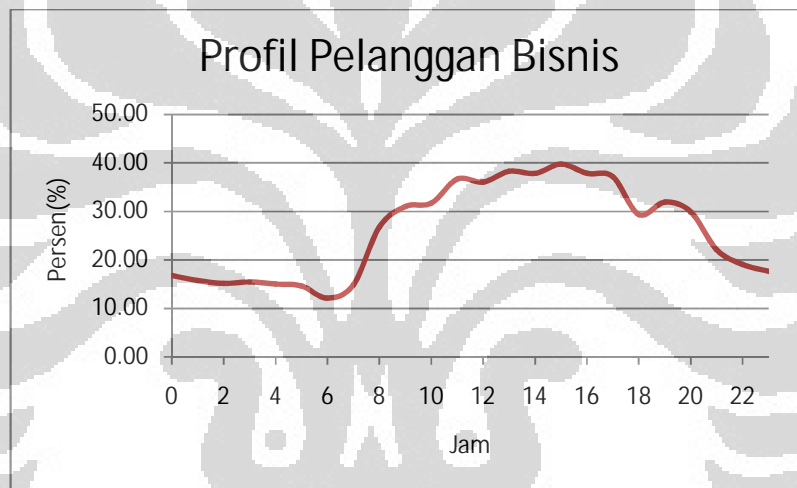
\*ket : Daya (Watt) = Daya pada profil pelanggan pada jam tertentu. (terlampir)

Daya rata – rata tiap jenis pelanggan didapat dengan mengalikan masing – masing nilai daya (yang tertera dalam laporan akhir PLN) dengan jumlah pelanggan di tiap jenis pelanggan Cempaka Putih pada masing – masing tipe, seperti contohnya R1, R2, dan R3 lalu dibagi jumlah keseluruhan pelanggan untuk jenis tipe tersebut.

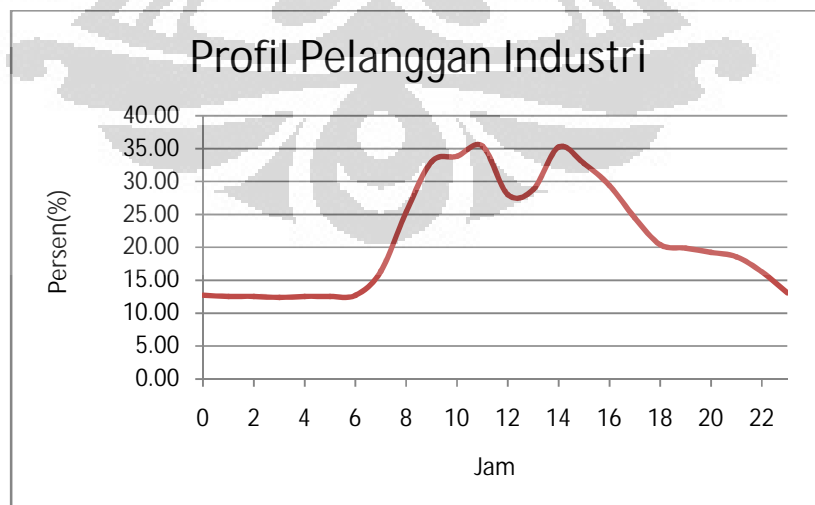
Berikut ini merupakan profil pelanggan untuk pelanggan residensial, bisnis, dan industri yang akan dijadikan sebagai dasar untuk menentukan besarnya susut energi pada jaringan,



Kurva 3.1: Profil Pelanggan Beban Residensial



Kurva 3.2: Profil Pelanggan Beban Bisnis



Kurva 3.3: Profil Pelanggan Beban Industri

Dari ketiga kurva di atas dapat diketahui karakteristik pemakaian energi listrik untuk masing – masing pelanggan. Dapat dilihat perbedaan yang cukup signifikan diantara ketiganya. Pada beban residensial (kurva 3.1), pemakaian energi listrik cenderung merata, namun mencapai puncaknya antara pukul 18:00 hingga pukul 20:00. Untuk pemakaian energi listrik di pelanggan bisnis (kurva 3.2), pemakaian listrik cukup tinggi diantara pukul 08:00 hingga pukul 21:00. Sedangkan untuk pelanggan industri (kurva 3.3), pemakaian cukup tinggi berlangsung antara pukul 08:00 hingga pukul 17:00. Waktu beban puncak (WBP) berlangsung mulai dari pukul 18:00 hingga pukul 22:00.

### 3.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh baik data aset, data transaksi energi, maupun data standar digunakan untuk mendapatkan nilai susut energi pada saluran. Pengolahan data dilakukan dengan mengklasifikasikan beberapa parameter yang akan digunakan dalam model perhitungan. Berikut parameter – parameter yang dijadikan sebagai data awal perhitungan,

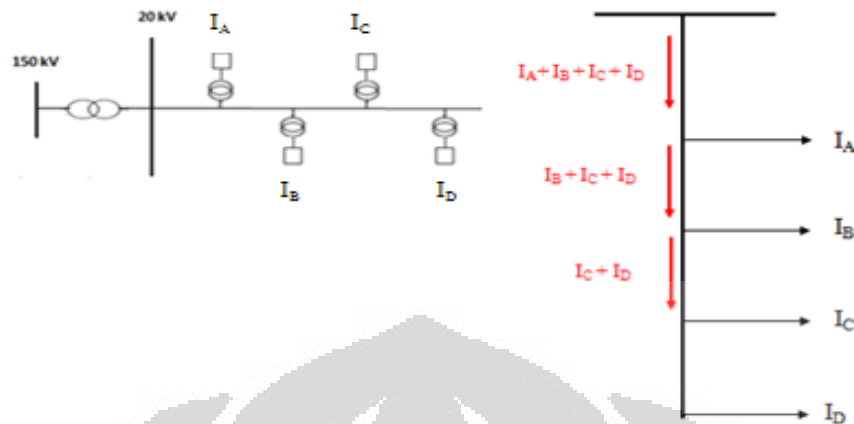
- Kapasitas trafo
- I maksimum trafo
- Persen pembebanan dari profil pelanggan
- Panjang saluran
- Impedansi saluran

Kapasitas trafo distribusi yang digunakan sebesar 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA. Dengan mengetahui kapasitas trafo distribusi maka akan didapat arus maksimum trafo. Berikut persamaannya,

$$I_{max} = \frac{S}{3 \times V_{phase} \times \cos \phi} \quad \text{(persamaan 3.6)}$$

Besar persen pembebanan dari profil pelanggan dapat digunakan untuk mengetahui besar nilai beban pada masing – masing trafo distribusi. Dengan mengetahui besarnya arus pada trafo distribusi maka dapat diketahui besar arus per seksi. Arus per seksi merupakan arus yang mengalir diantara gardu distribusi yang satu dengan gardu distribusi yang lain, berikut ilustrasinya,





Gambar 3.3: Ilustrasi Arus Seksi

Setelah mendapatkan nilai arus per seksi, maka besarnya nilai susut daya per seksi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 3.3. Penyulang angin merupakan penyulang 3 fasa dengan tegangan 20 kV, oleh karena itu persamaan 3.3 ditulis kembali dengan persamaan sebagai berikut,

$$P_{\text{susut}(3)} = 3 \times I^2 R \quad (\text{persamaan 3.7})$$

dimana :

$P_{\text{susut}}$  = daya tiga fasa yang hilang (Watt)

$I$  = arus yang mengalir dalam penghantar (Ampere)

$R$  = resistansi penghantar (ohm)

Persamaan di atas diasumsikan bahwa beban di masing – masing fasa dalam keadaan seimbang. Selain besarnya susut energi yang timbul, parameter daya masukan, daya keluaran dan efisiensi saluran juga dapat diketahui dengan parameter – parameter yang telah ada sebelumnya.

### 3.6 Analisis Data

Berdasarkan model perhitungan di atas, dengan menggunakan beberapa parameter seperti kapasitas trafo distribusi, arus maksimum trafo distribusi, profil pelanggan, panjang saluran, dan nilai impedansi, maka didapat besarnya susut daya. Besarnya susut daya dapat digunakan untuk mengetahui besarnya susut energi listrik dalam saluran penyulang selama periode tertentu dengan menggunakan persamaan 3.4.

Kategori pelanggan yang dibahas adalah pelanggan residensial, bisnis, dan industri. Ketiga pelanggan ini masing – masing memiliki perilaku pemakaian energi listrik yang berbeda satu sama lain. Dengan karakteristik yang berbeda, maka besarnya nilai susut energi listrik pada masing – masing pelanggan juga berbeda. Oleh karena itu, analisis akan dilakukan dengan beberapa variasi pembebanan sebagai berikut,

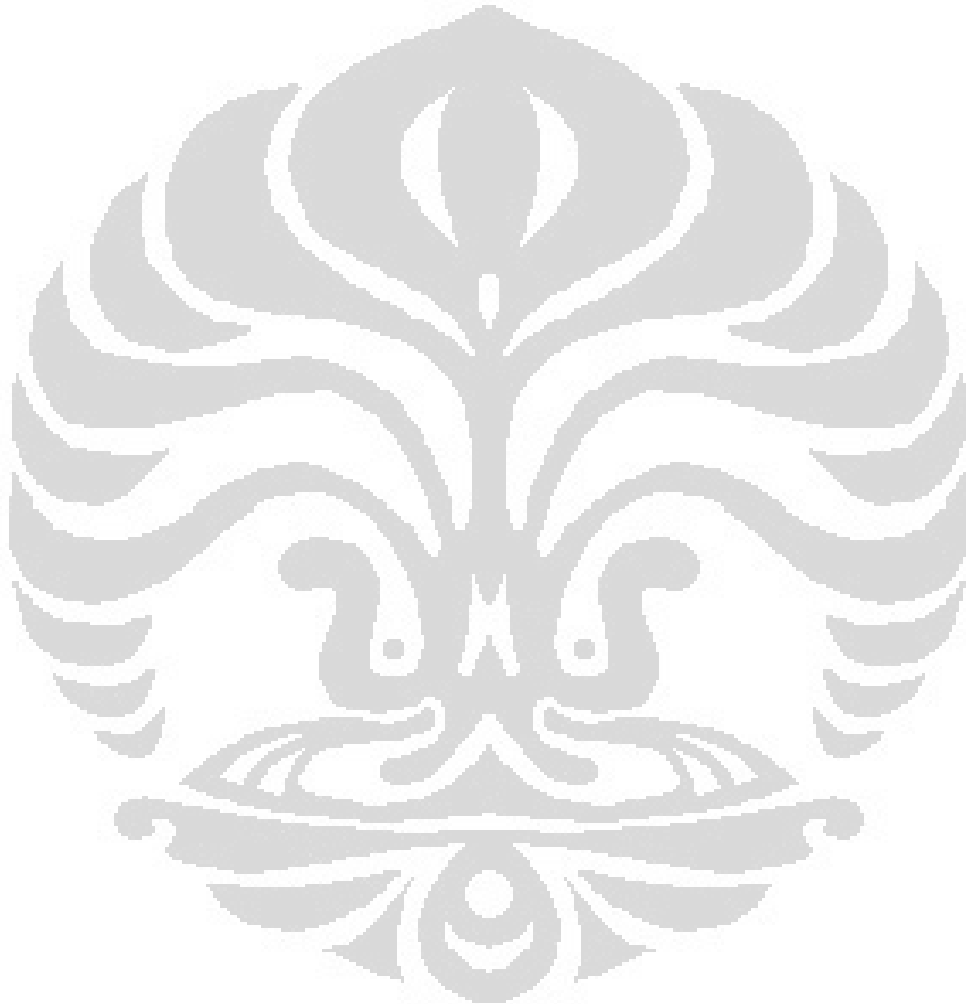
Tabel 3.4: Variasi Pembebanan Penyulang 20 kV

NO	Residensial	Bisnis	Industri
1.	100 %	-	-
2.	-	100 %	-
3.	-	-	100 %
4.	70 %	30 %	-
5.	50 %	50 %	-
6.	30 %	70 %	-
7.	70 %	-	30 %
8.	50 %	-	50 %
9.	30 %	-	70 %
10.	-	70 %	30 %
11.	-	50 %	50 %
12.	-	30 %	70 %
13.	50 %	25%	25 %
14.	25 %	50 %	25 %
15.	25 %	25%	50 %
16.	33%	33%	33%

Tabel di atas menjelaskan penyulang 20 kV yang akan diberi beban yang berbeda – beda. Diasumsikan di dalam penyulang terdapat tiga jenis pelanggan yaitu pelanggan residensial, bisnis, dan industri.

Pada tiga nomor awal (nomor 1 s.d. 3) penyulang diasumsikan dibebani dengan beban pelanggan residensial secara keseluruhan (nomor 1), pelanggan bisnis (nomor 2), dan pelanggan industri (nomor 3). Pada nomor 4 sampai dengan 6, penyulang dibebani dengan komposisi pelanggan residensial dan bisnis, pada nomor 7 sampai dengan 9 penyulang dibebani dengan komposisi pelanggan residensial dan industri, serta pada nomor 10 sampai dengan 12 penyulang dibebani dengan komposisi pelanggan bisnis dan industri. Besar persentase pembebanan masing – masing pelanggan berbeda satu sama lain sesuai dengan data di tabel. Untuk nomor 13 sampai dengan 16 penyulang dibebani dengan komposisi ketiga jenis pelanggan dengan persentase masing – masing pelanggan yang berbeda. Untuk nomor 16, penyulang diasumsikan dibebani dengan

persentase yang sama untuk masing – masing pelanggan. Variasi pembebanan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya susut energi listrik yang berbeda – beda. Penyulang dengan pembebanan yang berbeda akan memunculkan nilai susut energi yang berbeda. Dengan menganalisis semua kemungkinan yang ada maka didapatkan bentuk kurva susut energi yang mendekati keadaan optimal.



## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

Pada bab ini akan ditampilkan contoh pengolahan data – data yang telah didapat dilengkapi dengan kurva untuk memudahkan pembacaan hasil pengolahan beserta dengan analisisnya. Secara garis besar, analisis akan dibedakan berdasarkan jenis pelanggan dan gabungan antara beberapa pelanggan. Variasi pembebanan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.4.

#### 4.1 Pengolahan Data

Sebelum analisis dilakukan, perumusan dalam mendapatkan nilai yang digunakan dalam analisis akan ditampilkan. Data yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data susut energi pelanggan residensial pada pukul 00:00. Untuk mendapatkan besarnya nilai susut energi pada jaringan, beberapa parameter seperti profil pelanggan, trafo gardu distribusi, dan saluran distribusi diolah sebagai berikut,

##### 4.1.1 Arus maksimum trafo

Kapasitas trafo yang digunakan dalam penyulang adalah 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA. Nilai faktor daya untuk pelanggan residensial, bisnis, maupun industri diasumsikan sebesar 0.85 Berikut nilai arus maksimum trafo sesuai dengan persamaan 3.6,

$$\begin{aligned} \text{untuk trafo 1000 kVA : } I_{\max}^* &= \frac{1000 \text{ kVA}}{3 \times 220 \text{ V}} \arccos 0.85 \\ &= 1515 \quad -31.78^{\circ} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$I_{\max} = 1515 \quad -31.78^{\circ} \text{ Ampere}$$

$$\begin{aligned} \text{untuk trafo 630 kVA : } I_{\max}^* &= \frac{630 \text{ kVA}}{3 \times 220 \text{ V}} \arccos 0.85 \\ &= 954 \quad -31.78^{\circ} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$I_{\max} = 954 \quad -31.78^{\circ} \text{ Ampere}$$

$$\begin{aligned} \text{untuk trafo 400 kVA : } I_{\max}^* &= \frac{400 \text{ kVA}}{3 \times 220 \text{ V}} \arccos 0.85 \\ &= 606 \quad -31.78^{\circ} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$I_{\max} = 606 \quad -31.78^{\circ} \text{ Ampere}$$

#### 4.1.2 Persen pembebanan dari profil pelanggan

Berdasarkan persamaan 3.5, didapat besarnya persen pembebanan dengan persamaan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \% \text{ pembebanan} &= \frac{\text{Jumlah pelanggan}}{\text{Kapasitas terpasang} \times PF} \times \text{Daya (Watt)} \times 100\% \\ &= \frac{169403}{291248800 \times 0.85} \times 460 \times 100\% \\ &= 31\% \text{ (nilai ini merupakan pembulatan).} \end{aligned}$$

#### 4.1.3 Arus sekunder trafo gardu distribusi

Dengan mengetahui besarnya pembebanan pada trafo maka besarnya arus sekunder dapat diketahui. Besar pembebanan pada pukul 00:00 adalah 31 %, sehingga didapat besar arus sekunder sebagai berikut,

$$I_s = \% \text{ pembebanan} \times I_{\text{max trafo}} \quad (\text{persamaan 4.1})$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk trafo 1000 kVA : } I_s &= 31\% \times 1515 \text{ }^{-31.78^0} \\ &= 477.04 \text{ }^{-31.78^0} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk trafo 630 kVA : } I_s &= 31\% \times 954 \text{ }^{-31.78^0} \\ &= 300.39 \text{ }^{-31.78^0} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk trafo 400 kVA : } I_s &= 31\% \times 606 \text{ }^{-31.78^0} \\ &= 190.81 \text{ }^{-31.78^0} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

#### 4.1.4 Arus primer trafo gardu distribusi

Dengan menggunakan asumsi trafo ideal, maka didapat besarnya arus primer dengan sebagai berikut,

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (\text{persamaan 4.2})$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk trafo 1000 kVA : } I_p &= 477.04 \text{ }^{-31.78^0} \times \frac{380}{20000} \\ &= 9.06 \text{ }^{-31.78^0} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk trafo 630 kVA : } I_p &= 300.39 \text{ }^{-31.78^0} \times \frac{380}{20000} \\ &= 5.71 \text{ }^{-31.78^0} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk trafo 400 kVA : } I_p &= 190.81 \text{ }^{-31.78^0} \times \frac{380}{20000} \\ &= 3.63 \text{ }^{-31.78^0} \text{ Ampere} \end{aligned}$$

#### 4.1.5 Arus seksi

Besarnya arus seksi pada penyulang, tergantung pada letak masing – masing trafo gardu distribusi. Berdasarkan gambar 3.1, maka didapat kapasitas trafo masing – masing gardu sebagai berikut,

Diketahui :Gardu PS168 = 400 kVA, Gardu K136 = 1000 kVA, Gardu PS54 = 400 kVA, Gardu PS82 = 630 kVA, Gardu PS66 = 400 kVA, Gardu PS44A = 1000 kVA, Gardu PS76 = 630 kVA.

Berdasarkan ilustrasi gambar 3.3 maka didapat besar arus per seksi sebagai berikut,

Tabel .4.1 : Arus Seksi Penyulang

NO	Dari	Ke	Arus Gardu (A)	Arus Seksi (A)
1	GI Pulomas	PS 168	3.63 -31.78 <sup>0</sup>	40.42 -31.78 <sup>0</sup>
2	PS 168	K136 B	9.06 -31.78 <sup>0</sup>	36.79 -31.78 <sup>0</sup>
3	K136 B	PS 54	3.63 -31.78 <sup>0</sup>	27.73 -31.78 <sup>0</sup>
4	PS 54	PS 82	5.71 -31.78 <sup>0</sup>	24.10 -31.78 <sup>0</sup>
5	PS 82	PS 66	3.63 -31.78 <sup>0</sup>	18.40 -31.78 <sup>0</sup>
6	PS 66	PS 44 A	9.06 -31.78 <sup>0</sup>	14.77 -31.78 <sup>0</sup>
7	PS 44 A	PS 76	5.71 -31.78 <sup>0</sup>	5.71 -31.78 <sup>0</sup>

#### 4.1.6 Susut Energi

Untuk mengetahui besarnya susut energi dalam penyulang selama satu jam, diperlukan nilai susut per seksi sebagai berikut ( nilai resistansi = 0.125 ohm/km ),

Tabel .4.2 : Susut Energi Penyulang

NO	Dari	Ke	Panjang (km)	Arus Seksi (A)	Resistansi (Ohm)	Rugi Daya (W)
1	GI Pulomas	PS 168	3.145	40.42 -31.78 <sup>0</sup>	0.39	642.24
2	PS 168	K136 B	0.511	36.79 -31.78 <sup>0</sup>	0.06	86.47
3	K136 B	PS 54	0.379	27.73 -31.78 <sup>0</sup>	0.05	36.43
4	PS 54	PS 82	0.160	24.10 -31.78 <sup>0</sup>	0.02	11.62
5	PS 82	PS 66	0.546	18.40 -31.78 <sup>0</sup>	0.07	23.10
6	PS 66	PS 44 A	0.451	14.77 -31.78 <sup>0</sup>	0.06	12.30
7	PS 44 A	PS 76	0.380	5.71 -31.78 <sup>0</sup>	0.05	1.50
Total Susut Daya						813.70

Dengan mengasumsikan beban seimbang, maka didapat besarnya susut daya tiga fasa berdasarkan persamaan 3.6 sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_{\text{susut}(3)} &= 3 \times I^2 R \\ &= 3 \times 813.70 \\ &= 2441.11 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka besarnya susut energi sesuai dengan persamaan 3.4,

$$\begin{aligned} E_{\text{susut}} &= P \times t \\ &= 2441.11 \times 1 \\ &= 2.4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

#### 4.1.7 Daya Masukan

Daya masukan per jam pada penyulang dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$P_{\text{in}} = \sqrt{3} V \times I \times \text{PF} \quad (\text{persamaan 4.4})$$

keterangan :

V = Tegangan line( Volt)

I = Arus line (Ampere)

PF = Faktor daya

$$\begin{aligned} P_{\text{in}} &= \sqrt{3} \times 20000 \text{ Volt} \times 40.42 \text{ Ampere} \times 0.85 \\ &= 1188.7 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.1.8 Daya Keluaran

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= P_{\text{in}} - P_{\text{susut}} \quad (\text{persamaan 4.5}) \\ &= 1188.7 \text{ kW} - 2.4 \text{ kW} \\ &= 1186.3 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.1.9 Efisiensi Saluran

Efisiensi saluran adalah perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan pada saluran. Berikut persamaannya,

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (\text{persamaan 4.6}) \\ &= \frac{1186.3 \text{ kW}}{1188.7 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 99.79\% \end{aligned}$$

#### 4.1.10 Standar Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk membandingkan penyebaran atau penyimpangan data. Apabila nilai standar deviasi kecil maka data – data tersebut memiliki nilai yang tidak jauh dari rata-ratanya. Apabila standar deviasinya besar maka data – data tersebut menyebar atau memiliki nilai yang jauh dari rata – ratanya.

Data yang akan dicari standar deviasinya adalah data daya keluaran. Untuk masing – masing variasi pembebanan, dicari nilai standar deviasi untuk menentukan apakah kurva yang terbentuk mendekati nilai ideal. Berikut persamaan untuk mencari standar deviasi,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{(N-1)}} \quad (\text{persamaan 4.7})$$

Selain mendapatkan nilai susut energi pada penyulang, terdapat beberapa parameter yang lain seperti daya keluaran penyulang serta efisiensi penyulang. Parameter – parameter di atas dijadikan sebagai bahan untuk analisis besarnya susut energi pada penyulang. Analisis dilakukan berdasarkan jenis pelanggan dan variasinya. Untuk memudahkan pembacaan data, maka hasil pengolahan akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan juga grafik.

#### 4.2 Penyulang dengan Satu Jenis Pelanggan

Penyulang disimulasikan dimana dalam saluran hanya terdapat satu jenis pembebanan. Pembebanan meliputi pelanggan residensial, bisnis, dan industri. Beberapa parameter yang akan dibahas meliputi daya keluaran, susut dan efisiensi sebagai berikut,



Tabel.4.3 : Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Satu Jenis Pelanggan

Jam	Residensial			Bisnis			Industri		
	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$
0	1186.27	2.44	99.79	631.86	0.69	99.89	479.46	0.40	99.92
1	1135.83	2.24	99.80	593.84	0.61	99.90	473.26	0.39	99.92
2	1104.32	2.11	99.81	571.05	0.56	99.90	473.26	0.39	99.92
3	1096.00	2.08	99.81	582.50	0.59	99.90	467.22	0.38	99.92
4	1038.04	1.87	99.82	567.27	0.56	99.90	473.42	0.39	99.92
5	1041.81	1.88	99.82	551.93	0.53	99.90	473.42	0.39	99.92
6	928.16	1.49	99.84	456.62	0.36	99.92	479.79	0.40	99.92
7	922.59	1.48	99.84	561.38	0.55	99.90	616.84	0.66	99.89
8	933.87	1.51	99.84	1008.45	1.76	99.83	958.68	1.59	99.83
9	950.79	1.57	99.84	1167.94	2.37	99.80	1243.71	2.68	99.78
10	954.35	1.58	99.83	1194.34	2.47	99.79	1273.64	2.81	99.78
11	960.59	1.60	99.83	1380.45	3.31	99.76	1331.53	3.08	99.77
12	984.41	1.68	99.83	1357.72	3.20	99.76	1054.82	1.93	99.82
13	964.89	1.61	99.83	1441.20	3.61	99.75	1085.10	2.04	99.81
14	1030.04	1.84	99.82	1426.01	3.53	99.75	1327.42	3.06	99.77
15	1044.60	1.89	99.82	1498.17	3.90	99.74	1233.01	2.64	99.79
16	1130.59	2.22	99.80	1426.01	3.53	99.75	1106.82	2.12	99.81
17	1139.89	2.25	99.80	1399.52	3.40	99.76	921.96	1.47	99.84
18	1379.99	3.31	99.76	1107.02	2.13	99.81	767.96	1.02	99.87
19	1469.85	3.75	99.75	1202.11	2.51	99.79	749.87	0.97	99.87
20	1460.18	3.70	99.75	1126.11	2.20	99.81	724.92	0.91	99.87
21	1413.22	3.47	99.76	833.33	1.20	99.86	699.97	0.85	99.88
22	1309.94	2.98	99.77	719.22	0.90	99.88	613.87	0.65	99.89
23	1257.49	2.74	99.78	666.10	0.77	99.88	492.85	0.42	99.91
<b>Total</b>	<b>26837.72</b>	<b>53.29</b>	<b>99.80</b>	<b>23470.16</b>	<b>45.22</b>	<b>99.81</b>	<b>19522.77</b>	<b>31.6</b>	<b>99.84</b>

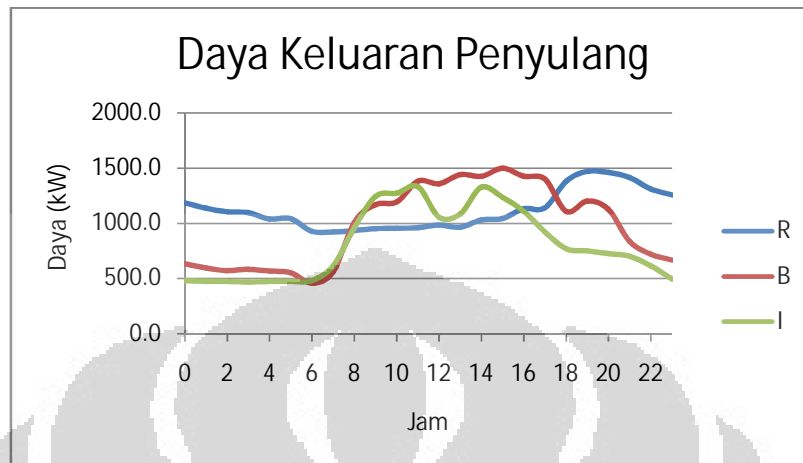
\*Ket : Daya keluaran = kW

Susut daya = kW

Efisiensi = %

#### 4.2.1 Analisis Daya Keluaran

Untuk memudahkan pembacaan data di atas, maka ditampilkan kurva daya keluaran pelanggan residensial, bisnis, dan industri dimana data satu untuk beban residensial, data dua untuk beban bisnis dan data tiga untuk beban industri,



Kurva 4.1: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri

Pada kurva 4.1, daya keluaran pelanggan residensial paling besar terjadi pada pukul 19:00 dimana nilainya mencapai 1470 kW. Pada saat waktu beban puncak (WBP) besarnya daya pada penyulang lebih besar dibandingkan dengan pada saat di luar WBP. WBP berkisar antara pukul 18:00 hingga pukul 22:00. Pada saat periode jam istirahat, antara pukul 22:00 hingga pukul 06:00 daya yang dipakai terus menurun. Hal ini dikarenakan pada periode tersebut hampir semua orang pada umumnya sedang beristirahat. Besar daya keluaran minimum terjadi pada pukul 07:00 sebesar 923 kW. Pada pukul 08:00 hingga pukul 16:00, aktivitas mulai dilakukan sehingga daya yang dipakai juga semakin meningkat.

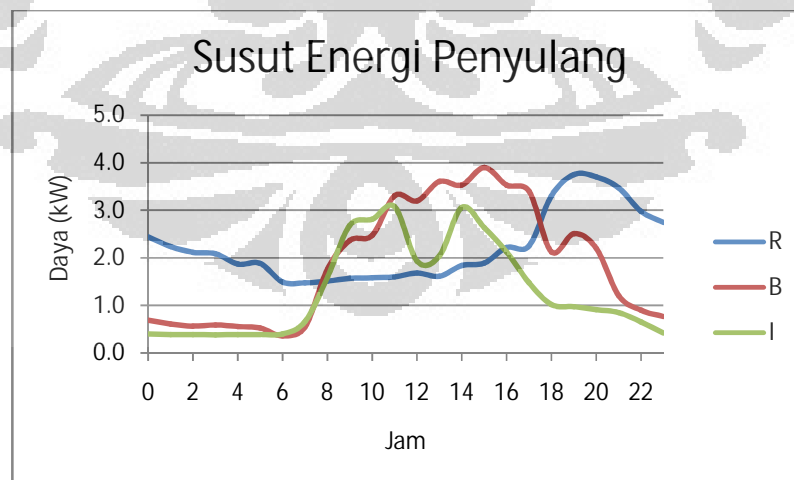
Pada kurva 4.1 juga dapat dilihat bahwa konsumsi daya pelanggan bisnis maksimal terjadi mulai dari pukul 08:00 hingga pukul 21:00. Hal ini memperlihatkan bahwa pelanggan bisnis pada umumnya melakukan aktivitas mulai dari pukul 08:00 hingga pukul 21:00. Besarnya daya keluaran maksimum terjadi pada pukul 15:00 sebesar 1498 kW. Daya maksimum ini apabila dibandingkan dengan daya maksimum penyulang dengan pelanggan residensial nilainya lebih rendah. Terjadi perbedaan daya keluaran yang sangat besar di antara jam istirahat dan jam kerja. Besarnya daya keluaran minimum terjadi pada pukul 06:00 sebesar 457 kW. Besarnya energi total yang diterima pelanggan dalam satu hari adalah 23470 kWh.

Kurva 4.1 juga menunjukkan nilai daya keluaran penyulang dengan pelanggan industri. Periode beban puncak berlangsung mulai dari pukul 08:00 hingga pukul 17:00. Terjadi penurunan pemakaian daya pada pukul 12:00. Pada pukul 12:00 pada umumnya pelanggan industri dalam masa istirahat sehingga aktivitas kegiatan menjadi berkurang. Nilai maksimum daya keluaran terjadi pada pukul 11:00 sebesar 1332 kW dan nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 03:00 sebesar 467 kW. Total energi selama satu hari adalah sebesar 19523 kWh. Energi total pada pelanggan industri paling rendah dibandingkan dengan pelanggan residensial maupun bisnis.

Pada area cempaka putih, pelanggan yang mengkonsumsi energi listrik paling besar adalah pelanggan residensial. Hal ini berdasarkan perilaku pelanggan residensial dalam satu hari yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelanggan yang lain. Kapasitas penyulang diasumsikan sama untuk semua jenis pelanggan, sehingga dengan kapasitas yang sama, hal yang menjadi faktor pembeda untuk konsumsi daya masing – masing pelanggan adalah profil pelanggan. Pada pelanggan residensial, rata-rata pemakaian energi selama satu hari tidak berbeda jauh baik itu pada siang hari maupun malam hari.

#### 4.2.2 Analisis Susut Energi

Berdasarkan data susut untuk pelanggan residensial, bisnis, dan industri pada tabel 4.3, dapat dijelaskan dengan bantuan grafik sebagai berikut,



Kurva 4.2: Susut Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial, Bisnis, dan Industri

Pada kurva 4.2 diperlihatkan besarnya susut yang terjadi dalam penyulang dengan beban pelanggan residensial dengan warna biru. Susut energi mencapai nilai maksimum pada pukul 19:00 dimana besarnya mencapai 3.75 kWh. Besarnya susut yang timbul sebanding dengan daya yang dipakai. Makin besar daya yang dipakai maka makin besar pula susut energi yang ditimbulkan. Hal ini disebabkan karena nilai susut energi sangat bergantung kepada nilai arus pada jaringan seperti yang dijelaskan pada persamaan 3.6. Makin besar nilai arus yang mengalir di dalam jaringan, maka makin besar pula susut energi yang timbul dalam jaringan. Oleh karena itu, pada saat waktu beban puncak antara pukul 18:00 hingga pukul 22:00 susut energi yang timbul di penyulang sangat besar. Susut energi selama satu hari penuh dalam penyulang yaitu sebesar 53 kWh. Susut energi minimum terjadi pada pukul 07:00 dimana nilainya sebesar 1.48 kWh.

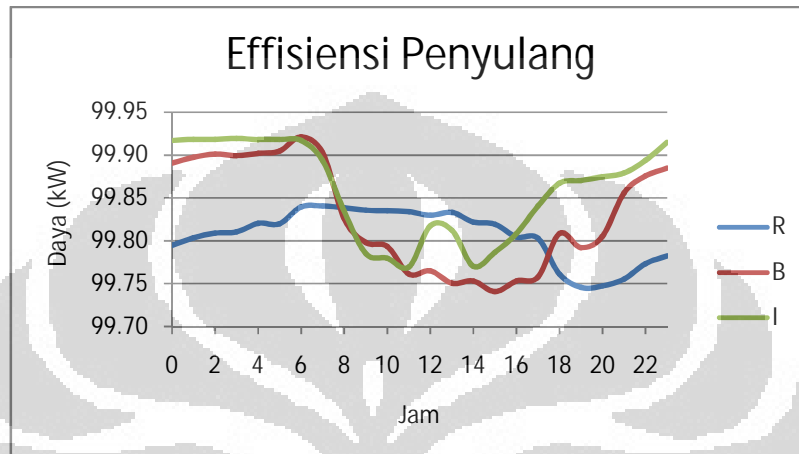
Susut energi penyulang dengan pelanggan bisnis digambarkan dengan warna merah pada kurva. Susut energi maksimum terjadi pada pukul 15:00 yaitu sebesar 3.9 kWh. Susut energi minimum terjadi pada pukul 06:00 dengan nilai 0.36 kWh. Susut energi selama satu hari adalah sebesar 45 kWh. Dibandingkan dengan nilai susut energi pada pelanggan residensial yaitu 53 kWh, susut pada pelanggan bisnis lebih rendah. Apabila dibandingkan dengan energi keluaran, pelanggan bisnis memiliki energi total keluaran dalam sehari yang lebih rendah bila dibandingkan dengan energi total keluaran pelanggan residensial.

Kurva 4.2 juga menggambarkan susut energi yang terjadi selama satu hari penuh pada pelanggan industri (warna hijau). Besar susut energi maksimum terjadi pada pukul 11:00 yaitu sebesar 3.1 kWh. Sedangkan susut energi minimum terjadi pada pukul 03:00 sebesar 0.38 kWh. Susut energi total selama satu hari sebesar 31.6 kWh. Susut energi pelanggan industri memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan dua pelanggan yang lain. Susut energi yang lebih rendah memperlihatkan bahwa perilaku konsumen industri dalam mengkonsumsi energi listrik lebih rendah dibandingkan dengan konsumen yang lain. Salah satu faktor yang mengakibatkan nilai susut energi pada pelanggan industri rendah adalah jumlah pelanggan yang lebih rendah dibandingkan dengan pelanggan yang lain. Hal ini akan mempengaruhi nilai faktor pembebanan. Dengan jumlah pelanggan

yang kecil sementara kapasitas daya yang terpasang besar, maka nilai persen pembebanan akan kecil. Hal ini dapat dilihat pada persamaan 3.5.

#### 4.2.3 Analisis Efisiensi

Untuk mempermudah pembacaan data efisiensi pada tabel 4.3, berikut ditampilkan grafik efisiensi penyulang,



Kurva 4.3: Efisiensi Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial , Bisnis , dan Industri

Kurva 4.3 menggambarkan besarnya efisiensi penyulang dalam dua puluh empat jam. Untuk penyulang dengan pelanggan residensial dengan warna biru, nilai efisiensi terendah terjadi pada pukul 19:00 dan 20:00 dimana nilainya mencapai 99.75 % dan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada pukul 06:00 hingga pukul 11:00 yaitu sebesar 99.84 %. Hal ini berbanding terbalik dengan besarnya nilai daya dan susut. Makin tinggi nilai daya yang dipakai oleh pelanggan mengakibatkan nilai susut yang timbul di jaringan makin besar. Besarnya susut akan mengakibatkan efisiensi dalam jaringan makin kecil. Makin banyak energi yang terbuang dalam jaringan maka makin rendah nilai efisiensi jaringan tersebut.

Pada kurva juga dapat diketahui besarnya efisiensi maksimum penyulang dengan pelanggan bisnis (warna merah) terjadi pada pukul 06:00 dimana susut yang timbul dalam kondisi minimum. Besarnya efisiensi maksimum yaitu 99.92%. Susut energi yang terjadi dalam jaringan hanya sebesar 0.08 %. Untuk efisiensi minimum terjadi pada pukul 15:00 sebesar 99.74%. Pada saat itu susut energi pada penyulang dalam keadaan maksimum.

Besarnya efisiensi penyulang industri ditunjukkan dengan warna hijau. Nilai maksimum efisiensi penyulang sebesar 99.92 % pada pukul 00:00 s.d.06:00. Sedangkan nilai minimum efisiensi penyulang terjadi pada pukul 11:00 dan 14:00 sebesar 99.77 %. Nilai susut energi secara keseluruhan yang lebih rendah dibandingkan dengan pelanggan yang lain mengakibatkan nilai efisiensi secara keseluruhan menjadi paling tinggi yaitu sebesar 99.84%.

### **4.3 Penyulang dengan Dua Jenis Pelanggan**

Penyulang disimulasikan dimana dalam saluran terdapat dua jenis pembebanan. Variasi pemodelan meliputi beban residensial-bisnis, residensial-industri, dan bisnis-industri.

#### **4.3.1 Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial-Bisnis.**

Di dalam penyulang akan disimulasikan pembebanan dengan variasi kapasitas yang berbeda – beda untuk masing – masing pelanggan baik residensial maupun bisnis. Pada variasi pertama beban residensial diatur lebih dominan dibandingkan dengan beban bisnis (70% untuk beban residensial : 30% untuk beban bisnis), variasi kedua beban bisnis diatur lebih dominan dibandingkan dengan beban residensial (70% untuk beban bisnis : 30% untuk beban residensial), dan variasi ketiga beban residensial dan beban bisnis memiliki kapasitas yang sama besar (50% : 50%). Penggabungan antara profil pelanggan residensial dan bisnis dilakukan sesuai dengan komposisi pembebanan seperti di atas. Berikut beberapa parameter data yang didapatkan,

Tabel 4.4 : Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Beban  
Residensial dan Bisnis

Jam	70RR30B			30R70B			50R50B		
	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta_k$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta_k$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta_k$
0	1020.06	1.80	99.82	798.30	1.10	99.86	909.20	1.43	99.84
1	973.34	1.64	99.83	756.55	0.99	99.87	864.97	1.30	99.85
2	944.44	1.55	99.84	731.13	0.93	99.87	837.81	1.22	99.86
3	942.04	1.54	99.84	736.65	0.94	99.87	839.36	1.22	99.85
4	896.89	1.39	99.84	708.58	0.87	99.88	802.75	1.12	99.86
5	894.93	1.39	99.85	698.98	0.85	99.88	796.97	1.10	99.86
6	786.78	1.07	99.86	598.16	0.62	99.90	692.49	0.83	99.88
7	814.27	1.15	99.86	669.79	0.78	99.88	742.04	0.95	99.87
8	956.25	1.58	99.83	986.08	1.69	99.83	971.16	1.63	99.83
9	1015.95	1.79	99.82	1102.81	2.11	99.81	1059.39	1.95	99.82
10	1026.37	1.83	99.82	1122.37	2.18	99.81	1074.37	2.00	99.81
11	1086.61	2.05	99.81	1254.56	2.73	99.78	1170.60	2.38	99.80
12	1096.45	2.08	99.81	1245.78	2.69	99.78	1171.12	2.38	99.80
13	1107.87	2.13	99.81	1298.39	2.93	99.78	1203.14	2.51	99.79
14	1148.89	2.29	99.80	1307.28	2.97	99.77	1228.09	2.62	99.79
15	1180.74	2.42	99.80	1362.17	3.22	99.76	1271.47	2.81	99.78
16	1219.25	2.58	99.79	1337.42	3.10	99.77	1278.34	2.84	99.78
17	1217.81	2.57	99.79	1321.65	3.03	99.77	1269.73	2.80	99.78
18	1298.13	2.92	99.78	1188.94	2.45	99.79	1243.54	2.68	99.78
19	1389.56	3.35	99.76	1282.46	2.85	99.78	1336.01	3.10	99.77
20	1360.00	3.21	99.76	1226.37	2.61	99.79	1293.19	2.90	99.78
21	1239.38	2.67	99.79	1007.42	1.76	99.83	1123.42	2.19	99.81
22	1132.85	2.23	99.80	896.57	1.39	99.84	1014.73	1.79	99.82
23	1080.20	2.02	99.81	843.65	1.23	99.85	961.95	1.60	99.83
<b>Total</b>	<b>25829.07</b>	<b>49.25</b>	<b>99.81</b>	<b>24482.04</b>	<b>46.02</b>	<b>99.81</b>	<b>25155.86</b>	<b>47.33</b>	<b>99.81</b>

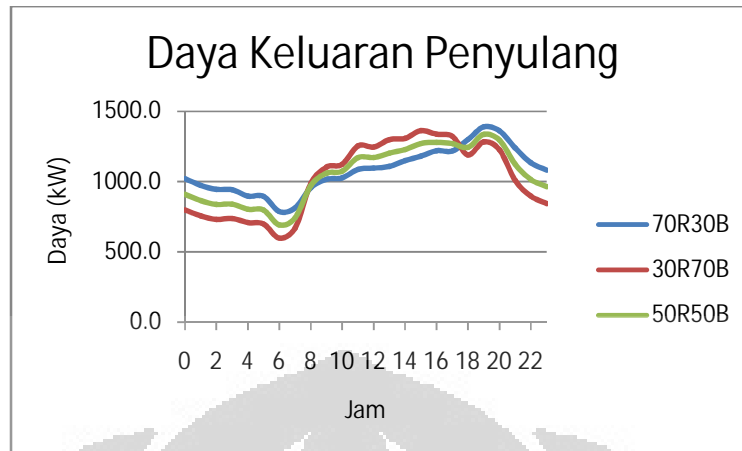
\*Ket : Daya keluaran = kW

Susut daya = kW

Efisiensi = %

#### 4.3.1.1 Analisis Daya Keluaran

Untuk memudahkan pembacaan data di atas berikut ditampilkan grafik daya keluaran dari ketiga variasi pembebanan di atas,



Kurva 4.4: : Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial dan Bisnis

Kurva di atas merupakan daya keluaran pada pembebanan residensial dan bisnis dengan variasi pertama, kedua, dan ketiga. Pada variasi pertama dimana perbandingan antara pelanggan residensial dan bisnis adalah 70:30, nilai maksimum daya keluaran adalah 1390 kW. Nilai maksimum terjadi pada pukul 19:00 dimana pada saat tersebut konsumsi pelanggan residensial mencapai puncaknya. Apabila dibandingkan dengan penyulang dengan beban pelanggan residensial, nilai maksimum variasi pertama lebih kecil. Nilai maksimum daya keluaran sebesar 1470 kW. Terjadi penurunan sebesar 80 kW untuk daya keluaran. Terjadi penurunan sekitar 5% untuk daya puncak pada penyulang dengan beban residensial. Nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 787 kW.

Pada variasi kedua dimana pelanggan bisnis lebih dominan dibandingkan pelanggan residensial, nilai maksimum daya keluaran terjadi pada pukul 15:00 sebesar 1362 kW. Pada pelanggan bisnis besarnya daya keluaran maksimum sebesar 1498 kW. Terdapat perbedaan sekitar 9% yaitu 136 kW. Nilai minimum daya keluaran sebesar 598 kW pada pukul 06:00. Secara keseluruhan apabila dibandingkan dengan penyulang dengan pelanggan bisnis, pada periode puncak beban bisnis antara pukul 08:00 hingga pukul 21:00 terjadi penurunan nilai daya. Namun di luar beban puncak antara pukul 22:00 hingga pukul 07:00 terjadi kenaikan nilai daya.

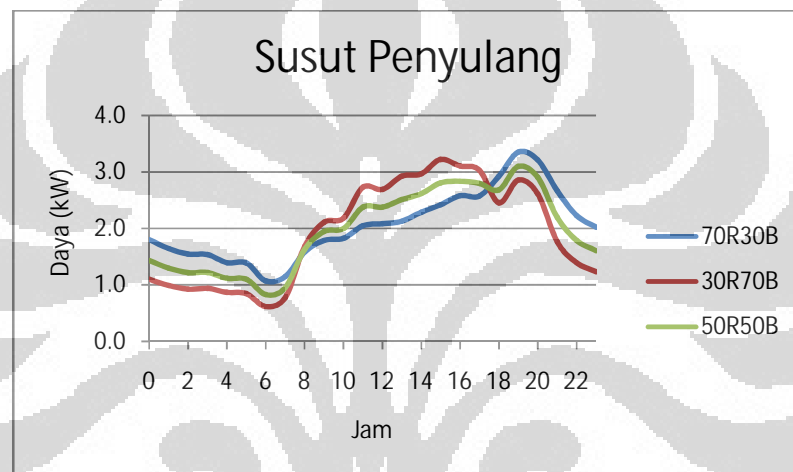
Pada variasi ketiga dimana pelanggan residensial dan bisnis memiliki komposisi yang sama besar di penyulang, nilai maksimum daya keluaran terjadi



pada pukul 19:00 yaitu sebesar 1336 kW. Apabila dibandingkan dengan waktu untuk nilai maksimum daya di variasi satu dan dua yaitu pukul 15:00 dan 19:00, pada variasi ketiga nilai daya lebih rendah dibandingkan dengan yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa beban puncak pada variasi tiga lebih rendah dibandingkan dengan variasi yang lain. Nilai minimum untuk daya keluaran pada variasi ketiga adalah sebesar 692 kW.

Parameter selanjutnya yang akan dibahas adalah susut energi dan efisiensi. Berikut analisis untuk dua parameter tersebut,

#### 4.3.1.2 Analisis Susut Energi



Kurva 4.5 : Susut Energi Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial dan Bisnis

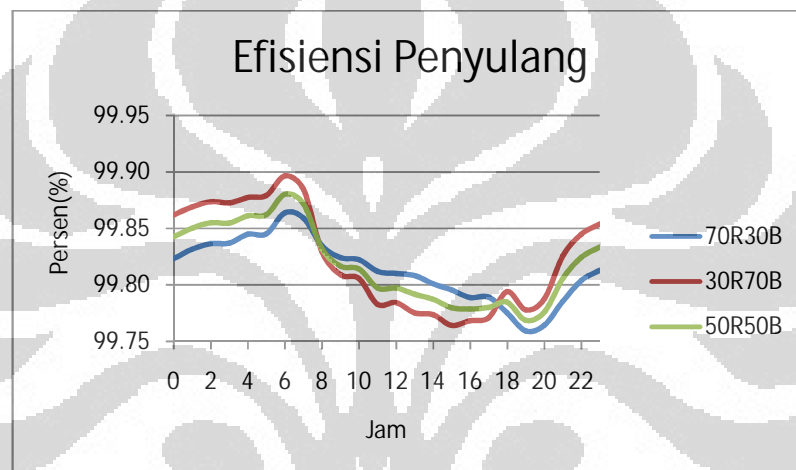
Pada kurva 4.5 digambarkan susut penyulang untuk variasi satu, dua dan tiga. Untuk variasi satu dimana beban residensial lebih dominan, nilai susut energi maksimum terjadi pada pukul 19:00 sebesar 3.35 kWh. Bila dibandingkan dengan penyulang pelanggan residensial susut yang ditimbulkan lebih rendah dimana nilai susut energi pada penyulang pelanggan residensial sebesar 3.75 kWh. Terjadi penurunan sebesar 10.6%. Sedangkan nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 1.07 kWh.

Pada variasi dua, dimana beban bisnis lebih dominan dibandingkan dengan beban residensial, nilai maksimum susut energi pada penyulang sebesar 3.22 kWh pada pukul 15:00. Dibandingkan dengan nilai maksimum pada jam yang sama di penyulang dengan beban bisnis, terjadi penurunan nilai susut. Pada penyulang dengan beban bisnis, nilai susut maksimum sebesar 3.9 kWh. Terjadi

penurunan nilai susut sebesar 17%. Nilai minimum susut terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.62 kWh.

Pada variasi tiga beban residensial dan bisnis memiliki kapasitas yang sama besar di penyulang, nilai maksimum susut energi terjadi pada pukul 19:00 yaitu sebesar 3.1 kWh. Susut energi yang terjadi pada variasi tiga lebih rendah dibandingkan dua variasi lainnya. Nilai minimum susut energi pada variasi ketiga adalah sebesar 0.83 kWh. Nilai susut energi minimum ini berada diantara nilai minimum variasi satu dan dua..

#### 4.3.1.3 Analisis Efisiensi



Kurva 4.6: Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial dan Bisnis

Kurva 4.6 menunjukkan besarnya efisiensi penyulang dengan pembebanan pelanggan residensial dan bisnis. Pada variasi satu dimana beban residensial lebih dominan daripada beban bisnis nilai efisiensi tertinggi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 99.86 %. Nilai efisiensi terendah terjadi pada pukul 19:00 sebesar 99.76 %. Kurva efisiensi berbanding terbalik dengan kurva susut. Makin tinggi efisiensi maka makin rendah susut yang terjadi.

Pada variasi dua dimana beban bisnis lebih dominan dibandingkan dengan beban residensial, nilai maksimum efisiensi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 99.90 %. Nilai minimum efisiensi terjadi pada pukul 15:00. Nilai minimum efisiensi sebesar 99.76 %. Perbedaan efisiensi antara nilai maksimum dan minimum pada variasi dua merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan dua variasi lainnya.

Pada variasi ketiga dimana beban residensial dan bisnis memiliki kapasitas yang sama besar di penyulang, nilai efisiensi tertinggi sebesar 99.88% pada pukul 06:00. Sedangkan nilai efisiensi terendah terjadi pada pukul 19:00 yaitu sebesar 99.77%. Nilai minimum efisiensi variasi tiga lebih tinggi dibandingkan dengan dua variasi yang lain.

#### 4.3.2 Penyulang dengan Beban Pelanggan Residensial-Industri.

Di dalam penyulang akan disimulasikan variasi pembebanan antara pelanggan residensial dan industri dengan kapasitas yang berbeda. Variasi pembebanan dibagi menjadi tiga. Variasi pertama, pelanggan residensial lebih dominan daripada pelanggan industri dengan persentase 70% : 30%. Variasi kedua, pelanggan industri lebih dominan dibandingkan dengan pelanggan residensial dengan persentase 70% : 30%. Variasi ketiga, pelanggan residensial dan industri memiliki bagian yang sama besar yaitu 50% : 50%. Beberapa parameter hasil pengolahan data akan dianalisis berdasarkan variasi pembebanan di atas.

Tabel 4.5: Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Beban  
Residensial dan Industri

Jam	70RR30I			30R70I			50R50I		
	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$
0	974.41	1.65	99.83	691.68	0.83	99.88	833.08	1.20	99.86
1	937.22	1.52	99.84	672.19	0.78	99.88	804.74	1.12	99.86
2	915.14	1.45	99.84	662.72	0.76	99.89	788.96	1.08	99.86
3	907.51	1.43	99.84	656.00	0.75	99.89	781.78	1.06	99.86
4	868.77	1.31	99.85	642.92	0.72	99.89	755.87	0.99	99.87
5	871.41	1.32	99.85	644.06	0.72	99.89	757.76	0.99	99.87
6	793.72	1.09	99.86	614.37	0.65	99.89	704.06	0.86	99.88
7	830.90	1.20	99.86	708.60	0.87	99.88	769.75	1.03	99.87
8	941.31	1.54	99.84	951.24	1.57	99.84	946.27	1.55	99.84
9	1038.70	1.87	99.82	1155.86	2.32	99.80	1097.29	2.09	99.81
10	1050.18	1.91	99.82	1177.89	2.41	99.80	1114.04	2.15	99.81
11	1071.92	1.99	99.81	1220.30	2.58	99.79	1146.12	2.28	99.80
12	1005.53	1.75	99.83	1033.70	1.85	99.82	1019.61	1.80	99.82
13	1000.96	1.74	99.83	1049.04	1.91	99.82	1025.00	1.82	99.82
14	1119.28	2.17	99.81	1238.23	2.66	99.79	1178.76	2.41	99.80
15	1101.13	2.10	99.81	1176.50	2.40	99.80	1138.82	2.25	99.80
16	1123.46	2.19	99.81	1113.95	2.15	99.81	1118.71	2.17	99.81
17	1074.53	2.00	99.81	987.36	1.69	99.83	1030.95	1.84	99.82
18	1196.52	2.48	99.79	951.70	1.57	99.84	1074.14	2.00	99.81
19	1254.05	2.73	99.78	966.05	1.62	99.83	1110.09	2.14	99.81
20	1239.80	2.67	99.79	945.69	1.55	99.84	1092.78	2.07	99.81
21	1199.43	2.50	99.79	914.13	1.45	99.84	1056.82	1.94	99.82
22	1101.30	2.10	99.81	822.87	1.17	99.86	962.12	1.60	99.83
23	1028.31	1.83	99.82	722.46	0.90	99.88	875.42	1.33	99.85
<b>Total</b>	<b>24645.50</b>	<b>44.54</b>	<b>99.82</b>	<b>21719.52</b>	<b>35.88</b>	<b>99.84</b>	<b>23182.94</b>	<b>39.77</b>	<b>99.83</b>

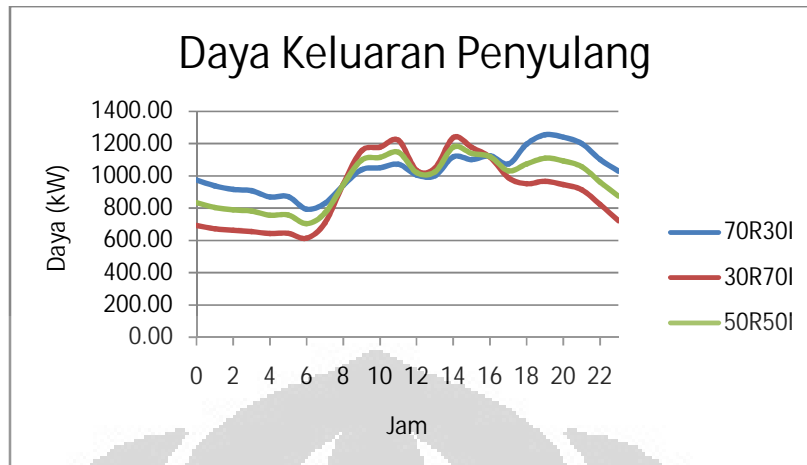
\*Ket : Daya keluaran = kW

Susut daya = kW

Efisiensi = %

#### 4.3.2.1 Analisis Daya Keluaran

Untuk membantu pembacaan tabel di atas berikut ditampilkan kurva daya keluaran penyulang,



Kurva 4.7: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri

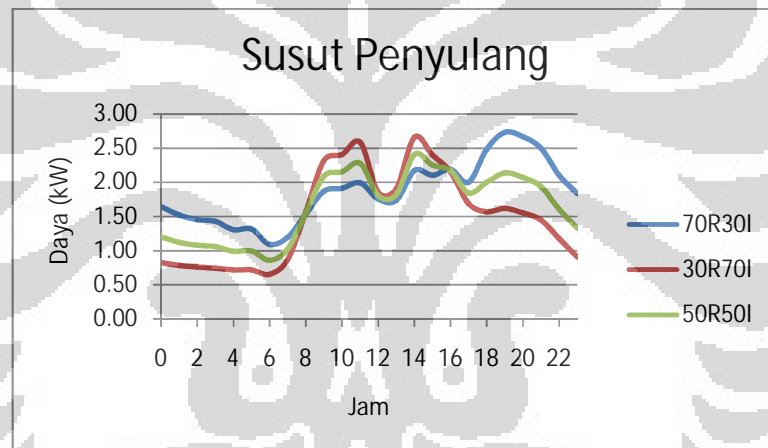
Pada kurva 4.7 digambarkan mengenai daya keluaran pada penyulang dengan variasi pertama, kedua, dan ketiga. Pada variasi pertama, nilai maksimum daya keluaran sebesar 1254 kW. Daya keluaran maksimum berlangsung pada pukul 19:00. Apabila dibandingkan dengan nilai maksimum daya keluaran pada beban residensial sebesar 1470 kW terjadi penurunan sebesar 216 kW. Terjadi penurunan daya sekitar 15%. Sedangkan nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 794 kW. Pada waktu beban puncak pelanggan residensial antara pukul 18:00 s.d. 22:00, nilai daya keluaran penyulang dengan variasi satu lebih kecil dibandingkan penyulang dengan beban residensial. Pada pukul 08:00 s.d. 11:00 daya keluaran penyulang mengalami peningkatan karena pada periode waktu ini beban industri sedang melakukan aktivitas kerja. Penurunan daya keluaran maksimum pada variasi pelanggan residensial-industri lebih besar bila dibandingkan dengan variasi pelanggan residensial-bisnis.

Pada variasi kedua dimana pelanggan industri lebih dominan dibandingkan dengan pelanggan residensial, nilai maksimum daya keluaran sebesar 1238 kW. Daya keluaran maksimum berlangsung pada pukul 14:00. Daya keluaran maksimum pada penyulang dengan beban industri sebesar 1332 kW. Terjadi penurunan sebesar 94 kW untuk daya keluaran atau sekitar 7%. Untuk nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 614 kW. Pada periode jam kerja mulai pukul 08:00 s.d. 12:00 daya pada penyulang dengan variasi kedua hampir sama dengan penyulang dengan pelanggan industri. Namun pada pukul 17:00 s.d. 22:00 nilai daya menjadi lebih besar dikarenakan pada

periode waktu tersebut pelanggan residensial berada pada waktu beban puncak. Pada periode istirahat pukul 23:00 s.d. 07:00 nilai daya keluaran pada variasi dua lebih tinggi dibandingkan dengan pelanggan industri.

Pada variasi ketiga dimana pelanggan residensial dan industri memiliki kapasitas yang sama besar, nilai maksimum daya keluaran terjadi pada pukul 14:00 sebesar 1178 kW. Apabila dibandingkan dengan nilai maksimum daya pada variasi satu dan dua, nilai daya keluaran pada variasi tiga lebih kecil. Nilai minimum untuk daya keluaran pada variasi ketiga adalah sebesar 704 kW pada pukul 06:00. Pada variasi ini, nilai daya keluaran maksimum apabila dibandingkan dengan penyulang dengan pelanggan residensial, jauh lebih rendah. Terdapat selisih sebesar 292 kW atau sekitar 20%.

#### 4.3.2.2 Analisis Susut Energi



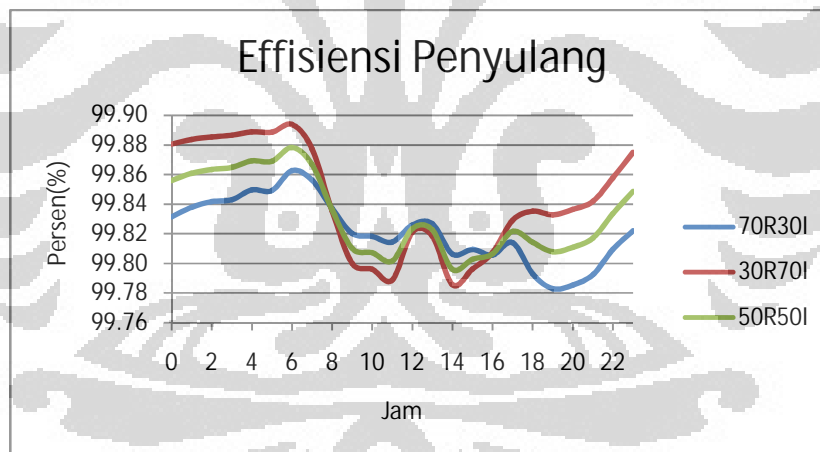
Kurva 4.8: Susut Energi Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri

Pada kurva 4.8 digambarkan susut energi penyulang untuk semua variasi pembebanan residensial dan industri. Pada variasi satu dimana beban residensial lebih dominan daripada beban industri, nilai maksimum susut energi sebesar 2.73 kWh pada pukul 19:00. Pada penyulang dengan beban residensial, susut energi maksimum sebesar 3.75 kWh. Terjadi selisih sebesar 1.02 kWh atau sebesar 27 %. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 1.09 kWh. Kenaikan dan penurunan susut energi pada penyulang sama dengan kenaikan dan penurunan daya. Hal ini disebabkan besarnya susut energi dan daya sama – sama dipengaruhi oleh arus yang dikonsumsi oleh beban.

Pada variasi kedua dimana beban industri lebih dominan daripada beban residensial, nilai maksimum susut energi penyulang sebesar 2.66 kWh pada pukul 14:00. Apabila dibandingkan dengan nilai susut energi maksimum pada penyulang dengan pelanggan industri yaitu sebesar 3.1 kWh, maka terjadi penurunan sebesar 0.44 kWh atau sebesar 14 %. Nilai minimum susut terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.65 kWh.

Pada variasi ketiga dimana penyulang dibebani oleh pelanggan residensial dan industri dengan kapasitas sama besar, nilai maksimum susut energi sebesar 2.41 kWh pada pukul 14:00. Apabila dibandingkan dengan susut energi maksimum pada variasi satu dan dua, susut energi maksimum variasi tiga lebih rendah dibandingkan dengan yang lain. Nilai susut energi pada variasi satu dan dua sebesar 2.73 kWh dan 2.66 kWh. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.86 kWh. Secara keseluruhan, susut energi total paling tinggi pada variasi satu dan susut energi total terendah pada variasi dua.

#### 4.3.2.3 Analisis Efisiensi



Kurva 4.9: Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial dan Industri

Pada kurva 4.9 digambarkan efisiensi penyulang pada semua variasi pembebanan. Pada variasi satu dimana beban residensial lebih dominan dibandingkan dengan beban industri, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.86 % pada pukul 06:00. Pada pukul 00:00 s.d. pukul 06:00 efisiensi penyulang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan pemakaian daya listrik belum tinggi dan susut yang timbul dalam penyulang juga rendah sehingga efisiensi tinggi. Nilai minimum efisiensi sebesar 99.78 % pada pukul 19:00.

Pada variasi kedua dimana beban industri lebih dominan daripada beban residensial, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.89 % pada pukul 02:00 s.d. 06:00. Dibandingkan dengan nilai efisiensi pada dua variasi lainnya, nilai efisiensi pada variasi dua lebih tinggi. Nilai minimum efisiensi sebesar 99.79 % pada pukul 14:00. Secara keseluruhan, efisiensi total penyulang dengan variasi dua lebih tinggi dibandingkan dengan dua variasi yang lain.

Pada variasi ketiga dimana kapasitas beban residensial dan industri dalam penyulang sama besar, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.87 % pada pukul 04:00 s.d. 05:00. Nilai minimum efisiensi sebesar 99.80% pada pukul 14:00 s.d. 15:00. Nilai minimum efisiensi pada variasi tiga lebih tinggi dibandingkan nilai minimum efisiensi pada variasi satu dan dua.

#### 4.3.3 Penyulang dengan Beban Pelanggan Bisnis-Industri.

Penyulang akan disimulasikan dengan variasi pembebanan yang berbeda – beda untuk pelanggan bisnis dan industri. Pada variasi pertama, beban bisnis diatur lebih dominan daripada beban industri dimana 70% pembebanan untuk beban bisnis dan 30% pembebanan untuk beban industri. Variasi kedua beban industri diatur lebih dominan daripada beban bisnis dimana 70% pembebanan untuk beban industri dan 30% pembebanan untuk beban bisnis. Variasi ketiga beban bisnis dan beban industri memiliki kapasitas yang sama besar, 50% pembebanan untuk beban bisnis dan 50% untuk beban industri. Berikut beberapa parameter hasil pengolahan data meliputi daya keluaran, susut energi, dan efisiensi,



Tabel 4.6: Daya Keluaran, Susut Energi, dan Efisiensi Penyulang dengan Beban  
Bisnis dan Industri

Jam	70B30I			30B70I			50B50I		
	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$	$P_{out}$	$P_{susut}$	$\eta$
0	586.15	0.59	99.90	525.19	0.48	99.91	555.67	0.53	99.90
1	557.67	0.54	99.90	509.44	0.45	99.91	533.56	0.49	99.91
2	541.72	0.51	99.91	502.60	0.44	99.91	522.16	0.47	99.91
3	547.92	0.52	99.91	501.81	0.44	99.91	524.87	0.48	99.91
4	539.12	0.50	99.91	501.58	0.44	99.91	520.35	0.47	99.91
5	528.38	0.48	99.91	496.98	0.43	99.91	512.68	0.45	99.91
6	463.57	0.37	99.92	472.84	0.39	99.92	468.20	0.38	99.92
7	578.02	0.58	99.90	600.20	0.62	99.90	589.11	0.60	99.90
8	993.52	1.71	99.83	973.61	1.64	99.83	983.57	1.68	99.83
9	1190.67	2.46	99.79	1220.98	2.59	99.79	1205.83	2.52	99.79
10	1218.14	2.57	99.79	1249.85	2.71	99.78	1234.00	2.64	99.79
11	1365.77	3.24	99.76	1346.20	3.15	99.77	1355.99	3.19	99.77
12	1266.88	2.78	99.78	1145.72	2.28	99.80	1206.31	2.52	99.79
13	1334.42	3.09	99.77	1191.98	2.46	99.79	1263.21	2.77	99.78
14	1396.44	3.39	99.76	1357.00	3.20	99.77	1376.72	3.29	99.76
15	1418.65	3.49	99.75	1312.59	2.99	99.77	1365.62	3.24	99.76
16	1330.29	3.07	99.77	1202.62	2.51	99.79	1266.46	2.78	99.78
17	1256.33	2.74	99.78	1065.31	1.97	99.82	1160.84	2.34	99.80
18	1005.34	1.75	99.83	869.72	1.31	99.85	937.54	1.52	99.84
19	1066.51	1.97	99.82	885.61	1.36	99.85	976.08	1.65	99.83
20	1005.81	1.75	99.83	845.33	1.24	99.85	925.58	1.48	99.84
21	793.33	1.09	99.86	739.98	0.95	99.87	766.66	1.02	99.87
22	687.62	0.82	99.88	645.48	0.72	99.89	666.55	0.77	99.88
23	614.14	0.65	99.89	544.83	0.51	99.91	579.49	0.58	99.90
<b>Total</b>	<b>22286.40</b>	<b>40.68</b>	<b>99.82</b>	<b>20707.45</b>	<b>35.25</b>	<b>99.83</b>	<b>21497.01</b>	<b>37.88</b>	<b>99.82</b>

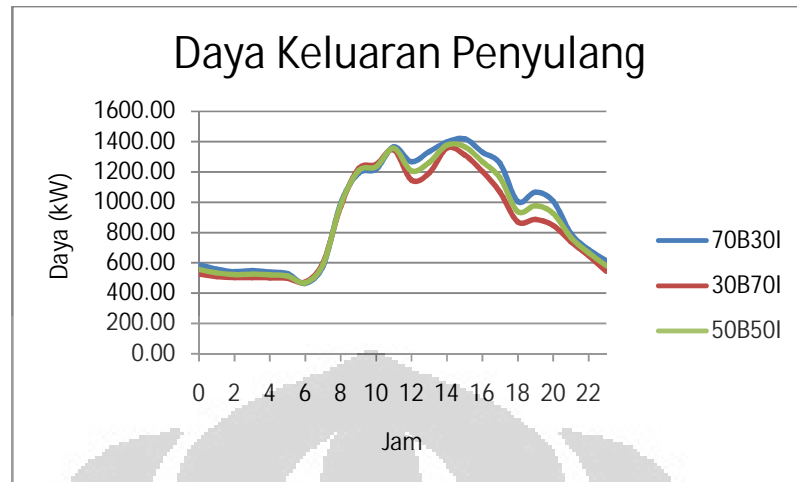
\*Ket : Daya keluaran = kW

Susut daya = kW

Efisiensi = %

#### 4.3.3.1 Analisis Daya Keluaran

Untuk membantu pembacaan tabel di atas berikut ditampilkan kurva daya keluaran penyulang,



Kurva 4.10: Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri

Kurva 4.10 menunjukkan daya keluaran pada penyulang untuk semua variasi pembebanan. Perilaku pelanggan bisnis dan industri tidak berbeda jauh, lain halnya dengan perilaku pelanggan residensial. Hanya terjadi perbedaan yang mendasar mengenai prinsip kerja pada dua pelanggan tersebut. Pada pelanggan bisnis, aktivitas kerja dilakukan selama 13 jam mulai dari pukul 08:00 s.d. pukul 21:00. Sedangkan pada pelanggan industri, aktivitas kerja dilakukan selama 9 jam mulai dari pukul 08:00 hingga pukul 17:00.

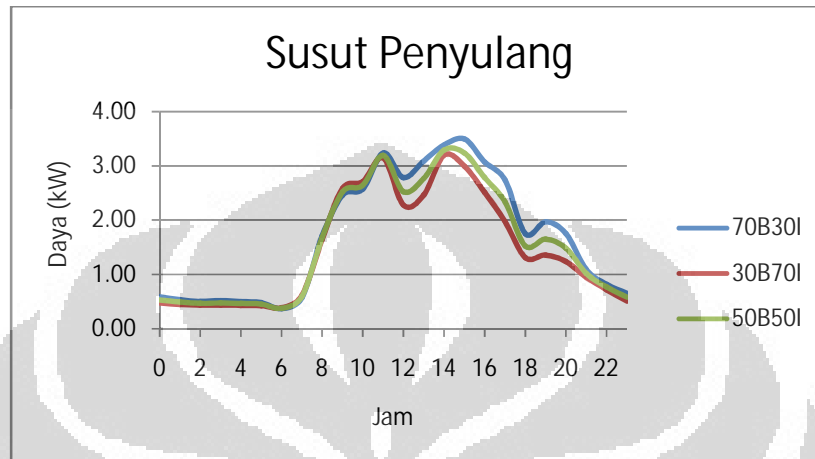
Pada variasi satu dimana beban bisnis lebih dominan dibandingkan dengan beban industri, nilai daya keluaran maksimum terjadi pada pukul 15:00 sebesar 1419 kW. Nilai maksimum daya keluaran untuk beban bisnis sebesar 1498 kW. Terjadi penurunan sebesar 79 kW. Penurunan daya sekitar 5%. Nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 464 kW.

Pada variasi kedua dimana beban industri lebih dominan dibandingkan dengan beban bisnis, nilai daya keluaran maksimum terjadi pada pukul 14:00 sebesar 1357 kW. Pada penyulang dengan beban industri, nilai daya keluaran maksimum sebesar 1332 kW. Terjadi kenaikan sebesar 25 kW untuk daya keluaran. Kenaikan yang terjadi sekitar 2%. Nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 473 kW.

Pada variasi ketiga dimana pelanggan bisnis dan industri memiliki kapasitas yang sama besar di penyulang, nilai maksimum daya keluaran terjadi pada pukul 14:00 sebesar 1377 kW. Nilai maksimum ini berada diantara nilai maksimum variasi satu dan dua. Nilai maksimum daya keluaran variasi ketiga

lebih rendah dibandingkan dengan variasi pertama namun lebih tinggi dibandingkan dengan variasi kedua. Nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 468 kW.

#### 4.3.3.2 Analisis Susut Energi



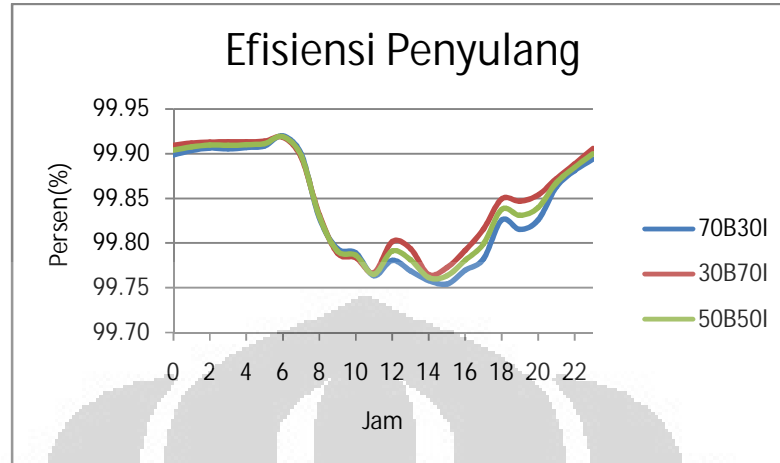
Kurva 4.11: Susut Energi Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri

Kurva 4.11 menunjukkan susut energi penyulang untuk semua variasi pembebanan bisnis dan industri. Pada variasi pertama dimana beban bisnis lebih dominan dibandingkan dengan beban industri nilai maksimum susut energi terjadi pada pukul 15.00 sebesar 3.49 kWh. Dibandingkan dengan nilai susut energimaksimum pada penyulang dengan pelanggan bisnis yaitu sebesar 3.9 kWh, terjadi penurunan sebesar 0.41 kWh atau sekitar 10%. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.37 kWh.

Pada variasi kedua, dimana beban industri lebih dominan dibandingkan dengan beban bisnis, nilai maksimum susut energi terjadi pada pukul 14:00 sebesar 3.2 kWh. Nilai maksimum susut energi pada penyulang dengan pelanggan industri sebesar 3.1 kWh. Terjadi peningkatan sebesar 0.1 kWh atau sebesar 3.2 %. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.39 kWh.

Pada variasi ketiga dimana beban bisnis dan industri memiliki kapasitas pembebanan yang sama besar, nilai maksimum susut energi terjadi pada pukul 14:00 sebesar 3.29 kWh. Besarnya susut energi maksimum pada variasi tiga lebih tinggi dibandingkan dengan susut energi maksimum pada variasi dua namun lebih rendah dibandingkan dengan variasi satu. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.38 kWh.

#### 4.3.3.3 Analisis Efisiensi



Kurva 4.12: Efisiensi Penyulang dengan Beban Bisnis dan Industri

Kurva 4.12 menunjukkan efisiensi penyulang dengan variasi pembebanan pertama, kedua, dan ketiga. Nilai efisiensi maksimum untuk ketiga variasi tidak jauh berbeda namun untuk efisiensi minimum masing – masing variasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada variasi pertama dimana beban bisnis lebih dominan dibandingkan dengan beban industri, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.92 % pada pukul 06:00. Nilai minimum efisiensi sebesar 99.75% pada pukul 15:00.

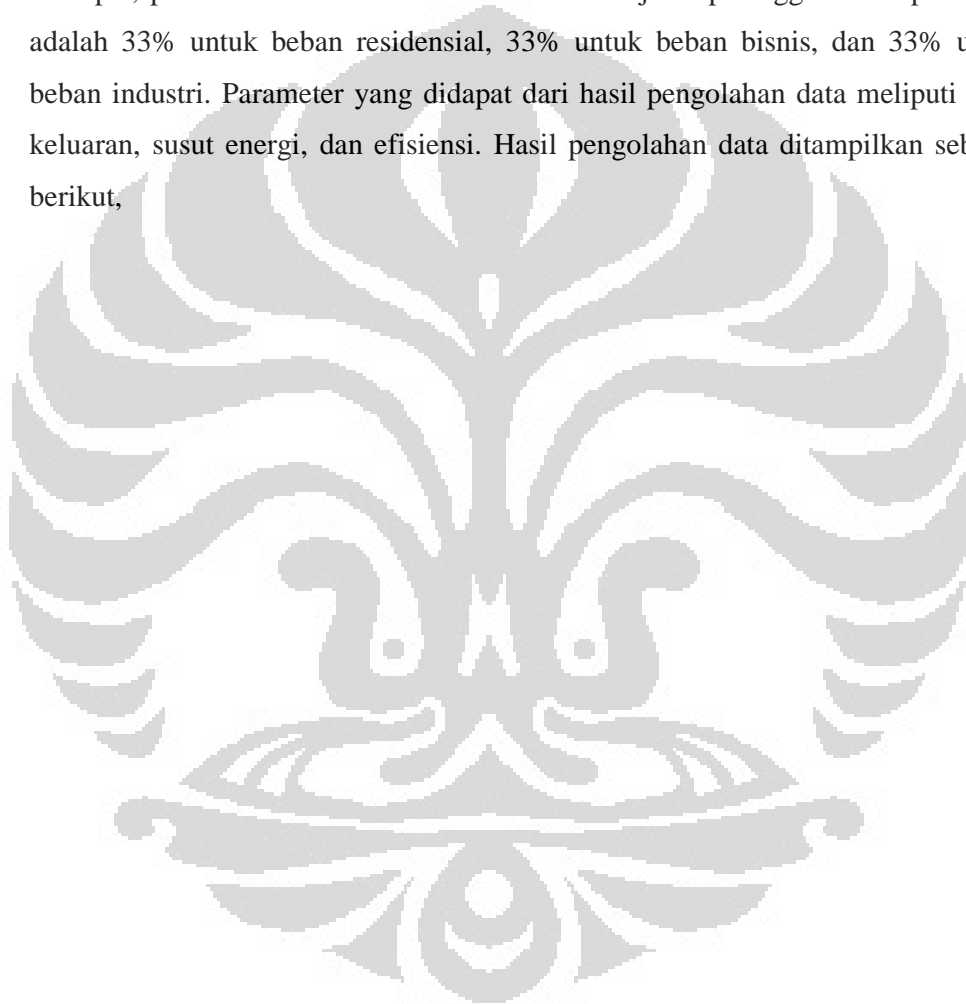
Pada variasi kedua dimana beban industri lebih dominan daripada beban bisnis, nilai maksimum efisiensi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 99.92 %. Nilai minimum efisiensi terjadi pada pukul 11:00, 14:00, dan 15:00 sebesar 99.77 %.

Pada variasi ketiga dimana beban bisnis dan industri memiliki kapasitas yang sama besar, nilai maksimum efisiensi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 99.92%. Nilai efisiensi maksimum penyulang dengan variasi tiga sama dengan variasi satu dan variasi dua. Nilai efisiensi minimum terjadi pada pukul 14:00 s.d. 15:00 sebesar 99.76%.

#### 4.4 Penyulang dengan Tiga Jenis Pelanggan

Penyulang disimulasikan dengan tiga jenis pelanggan yaitu residensial, bisnis, dan industri. Simulasi dilakukan dengan membuat variasi yang berbeda – beda untuk masing – masing pelanggan. Pada variasi pertama, beban residensial diatur lebih dominan dibandingkan dengan beban yang lain dengan komposisi 50% pembebanan untuk pelanggan residensial, 25% untuk pelanggan bisnis, 25%

untuk pelanggan industri. Pada variasi kedua, beban bisnis diatur lebih dominan dibandingkan dengan beban yang lain dengan komposisi 50% pembebanan untuk pelanggan bisnis, 25% untuk pelanggan residensial, dan 25% untuk pelanggan industri. Pada variasi ketiga, beban industri diatur lebih dominan dibandingkan dengan beban yang lain dengan komposisi 50% pembebanan untuk pelanggan industri, 25% untuk beban residensial, 25% untuk pelanggan bisnis. Pada variasi keempat, pembebanan dibuat sama untuk semua jenis pelanggan. Komposisinya adalah 33% untuk beban residensial, 33% untuk beban bisnis, dan 33% untuk beban industri. Parameter yang didapat dari hasil pengolahan data meliputi daya keluaran, susut energi, dan efisiensi. Hasil pengolahan data ditampilkan sebagai berikut,



Tabel 4.7 : Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri

Jam	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
	P <sub>out 1</sub>	P <sub>out 2</sub>	P <sub>out 3</sub>	P <sub>out 4</sub>
0	871.15	732.49	694.41	758.38
1	834.85	699.31	669.18	727.12
2	813.38	680.03	655.59	709.19
3	810.57	682.16	653.35	708.22
4	779.31	661.58	638.13	686.09
5	777.36	654.86	635.24	682.28
6	698.27	580.37	586.16	615.40
7	755.90	665.58	679.44	693.32
8	958.72	977.37	964.92	957.35
9	1078.34	1132.61	1151.56	1109.65
10	1094.21	1154.20	1174.02	1129.43
11	1158.36	1263.31	1251.07	1212.03
12	1095.38	1188.72	1112.98	1121.06
13	1114.09	1233.18	1144.13	1152.19
14	1203.43	1302.41	1277.76	1248.62
15	1205.15	1318.55	1252.24	1246.09
16	1198.54	1272.40	1192.59	1208.99
17	1150.37	1215.29	1095.90	1142.34
18	1158.85	1090.58	1005.84	1074.27
19	1223.07	1156.10	1043.09	1129.38
20	1193.01	1109.45	1009.20	1092.87
21	1090.12	945.10	911.77	972.53
22	988.43	840.70	814.37	872.38
23	918.69	770.78	727.49	797.62
<b>Total</b>	<b>24169.54</b>	<b>23327.11</b>	<b>22340.46</b>	<b>23046.80</b>

\*Ket : Daya keluaran = kW

Tabel 4.8: Susut Energi dan Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial,  
Bisnis, dan Industri

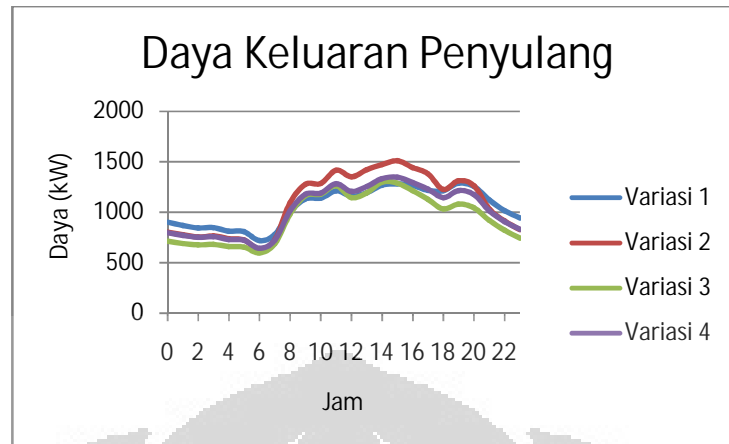
Jam	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3		Variasi 4	
	$P_{\text{susut 1}}$	$\eta_1$	$P_{\text{susut 2}}$	$\eta_2$	$P_{\text{susut 3}}$	$\eta_3$	$P_{\text{susut 4}}$	$\eta_4$
0	1.31	99.85	0.93	99.87	0.84	99.88	1.00	99.87
1	1.21	99.86	0.85	99.88	0.78	99.88	0.92	99.87
2	1.15	99.86	0.80	99.88	0.74	99.89	0.87	99.88
3	1.14	99.86	0.81	99.88	0.74	99.89	0.87	99.88
4	1.05	99.87	0.76	99.89	0.71	99.89	0.82	99.88
5	1.05	99.87	0.74	99.89	0.70	99.89	0.81	99.88
6	0.84	99.88	0.58	99.90	0.59	99.90	0.66	99.89
7	0.99	99.87	0.77	99.88	0.80	99.88	0.83	99.88
8	1.59	99.83	1.66	99.83	1.61	99.83	1.59	99.83
9	2.02	99.81	2.22	99.80	2.30	99.80	2.14	99.81
10	2.08	99.81	2.31	99.80	2.39	99.80	2.21	99.80
11	2.33	99.80	2.77	99.78	2.72	99.78	2.55	99.79
12	2.08	99.81	2.45	99.79	2.15	99.81	2.18	99.81
13	2.15	99.81	2.64	99.79	2.27	99.80	2.30	99.80
14	2.51	99.79	2.94	99.77	2.83	99.78	2.71	99.78
15	2.52	99.79	3.02	99.77	2.72	99.78	2.69	99.78
16	2.49	99.79	2.81	99.78	2.47	99.79	2.54	99.79
17	2.30	99.80	2.56	99.79	2.08	99.81	2.26	99.80
18	2.33	99.80	2.06	99.81	1.75	99.83	2.00	99.81
19	2.60	99.79	2.32	99.80	1.89	99.82	2.21	99.80
20	2.47	99.79	2.13	99.81	1.77	99.83	2.07	99.81
21	2.06	99.81	1.55	99.84	1.44	99.84	1.64	99.83
22	1.69	99.83	1.22	99.85	1.15	99.86	1.32	99.85
23	1.46	99.84	1.03	99.87	0.92	99.87	1.10	99.86
<b>Total</b>	<b>43.42</b>	<b>99.82</b>	<b>41.93</b>	<b>99.82</b>	<b>38.35</b>	<b>99.83</b>	<b>40.27</b>	<b>99.83</b>

\*Ket : Susut daya = kW

Efisiensi = %

#### 4.4.1 Analisis Daya Keluaran

Untuk menambah gambaran mengenai data di atas berikut ditampilkan kurva daya keluaran untuk keempat variasi,



Kurva 4.13 : Daya Keluaran Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri

Kurva 4.13 menunjukkan besarnya daya keluaran untuk semua variasi pembebanan. Pada variasi satu nilai maksimum daya keluaran sebesar 1223 kW pada pukul 19:00. Dibandingkan dengan penyulang yang dibebani pelanggan residensial, terjadi selisih nilai maksimum sebesar 247 kW untuk daya keluaran atau sekitar 17%. Nilai maksimum daya keluaran untuk penyulang dengan beban residensial sebesar 1470 kW. Penurunan ini paling tinggi apabila dibandingkan dengan kombinasi antara beban residensial dan bisnis dengan komposisi 70:30 ataupun residensial dan industri dengan komposisi 70:30. Nilai penurunan pada kedua variasi di atas sebesar 5% dan 15%. Namun penurunan daya masukan maksimum pada variasi tiga masih lebih rendah bila dibandingkan dengan penyulang dengan variasi residensial industri dengan komposisi 50:50 yaitu sebesar 20%. Nilai minimum daya keluaran terjadi pada pukul 06:00 sebesar 698 kW.

Pada variasi dua nilai maksimum daya keluaran sebesar 1318 kW pada pukul 15:00. Nilai maksimum daya keluaran penyulang dengan beban bisnis sebesar 1498 kW. Terdapat selisih sebesar 180 kW untuk daya keluaran atau sebesar 12%. Penurunan ini lebih besar apabila dibandingkan dengan penyulang yang dibebani dua jenis pelanggan dimana beban bisnis lebih dominan. Pada penyulang dengan komposisi bisnis 70% dan residensial 30% penurunan daya maksimum sebesar 9% dan pada penyulang dengan komposisi bisnis 70% dan industri 30% bahkan terjadi kenaikan sebesar 2%. Nilai minimum daya keluaran

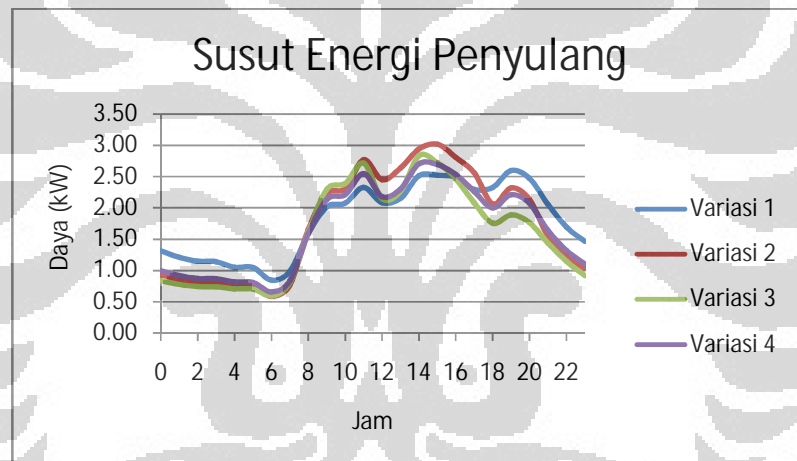


sebesar 580 kW pada pukul 06:00. Pada variasi dua, nilai maksimum daya keluaran merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya.

Pada variasi tiga nilai maksimum daya keluaran sebesar 1277 kW pada pukul 14:00. Pada penyulang dengan beban industri, nilai maksimum daya keluaran sebesar 1332 kW. Terjadi penurunan sebesar 55 kW untuk daya keluaran atau sekitar 4%. Nilai minimum daya keluaran sebesar 586 kW pada pukul 06:00.

Pada variasi empat nilai maksimum daya keluaran sebesar 1249 kW. Nilai maksimum daya keluaran pada variasi empat lebih rendah dibandingkan dengan nilai maksimum daya keluaran pada variasi dua dan tiga namun lebih tinggi daripada variasi satu. Nilai maksimum daya keluaran tertinggi terdapat pada variasi dua sebesar 1318 kW. Nilai minimum daya keluaran sebesar 615 kW.

#### 4.4.2 Analisis Susut Energi



Kurva 4.14 :Susut Energi Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri

Kurva 4.14 menunjukkan besarnya susut energipenyulang dengan keempat variasi pembebanan. Pada variasi satu nilai maksimum susut energi penyulang terjadi pada pukul 19:00 sebesar 2.6 kWh. Pada penyulang dengan beban residensial susut energi maksimum sebesar 3.75 kWh. Terjadi selisih sebesar 1.15 kWh atau sekitar 30%. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.84 kWh.

Pada variasi dua, nilai maksimum susut energi terjadi pada pukul 15:00 sebesar 3.02 kWh. Pada penyulang dengan beban bisnis susut energi maksimum

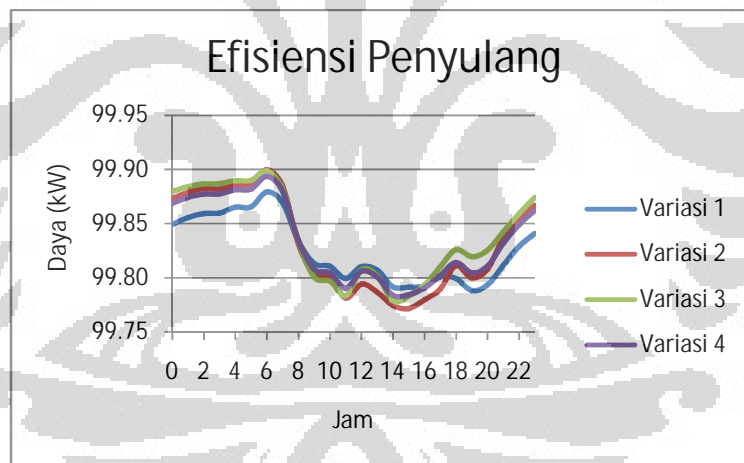
sebesar 3.9 kWh. Terjadi penurunan sebesar 0.88 kWh atau sebesar 22.6%. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.58 kWh.

Pada variasi tiga, nilai maksimum susut energi terjadi pada pukul 14:00 sebesar 2.83 kWh. Dibandingkan dengan nilai maksimum susut energi pada penyulang dengan beban industri, terjadi penurunan sebesar 0.27 kWh. Nilai maksimum susut energi pada penyulang dengan beban industri sebesar 3.1 kWh. Penurunan yang terjadi sebesar 8.7%. Nilai minimum susut energi terjadi pada pukul 06:00 sebesar 0.59 kWh.

Pada variasi empat nilai maksimum susut energi sebesar 2.71 kWh pada pukul 14:00. Nilai maksimum susut pada variasi empat lebih tinggi dibandingkan dengan variasi satu namun lebih rendah dari variasi dua dan tiga. Pada variasi dua, nilai maksimum susut energi sebesar 3.02 kWh, paling tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain. Nilai minimum pada variasi empat sebesar 0.66 kWh.

#### 4.4.3 Analisis Efisiensi

Berikut ditampilkan kurva efisiensi untuk keempat variasi,



Kurva 4.15: Efisiensi Penyulang dengan Beban Residensial, Bisnis, dan Industri

Kurva 4.15 menunjukkan efisiensi penyulang dengan semua variasi pembebanan. Pada variasi satu dimana pelanggan residensial lebih dominan dibandingkan dengan beban yang lain, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.88% pada pukul 06:00. Nilai minimum efisiensi terjadi pada pukul 19:00 dan 20:00 saat beban residensial mengalami beban puncak, sebesar 99.78%.

Pada variasi dua dimana pelanggan bisnis lebih dominan dibandingkan dengan beban yang lain, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.90% pada pukul

06:00. Nilai minimum efisiensi pada variasi dua sebesar 99.74%. Nilai minimum efisiensi terjadi pada pukul 14:00 s.d. 15:00. Periode waktu ini merupakan periode waktu saat beban bisnis mengalami beban puncak.

Pada variasi tiga dimana pelanggan industri lebih dominan dibandingkan dengan beban yang lain, nilai maksimum efisiensi sebesar 99.90% pada pukul 06:00. Nilai minimum efisiensi sebesar 99.78% pada pukul 11:00, 14:00 dan 15:00.

Pada variasi empat dimana semua pelanggan memiliki persentase sama besar dalam penyulang, nilai efisiensi maksimum sebesar 99.89%. Nilai efisiensi maksimum tertinggi didapat pada variasi dua dan tiga sebesar 99.90%. Nilai efisiensi maksimum paling rendah terdapat pada variasi satu sebesar 99.88%. Perbedaan nilai maksimum sebesar 0.01%. Nilai efisiensi minimum sebesar 99.78% pada pukul 14:00 dan 15:00. Nilai ini sama dengan nilai efisiensi minimum pada variasi tiga namun lebih rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi minimum variasi satu dan lebih tinggi dibandingkan dengan variasi dua.

#### **4.5 Analisis Perbandingan antar Penyulang**

##### **4.5.1 Penyulang dengan Beban Satu Jenis Pelanggan**

Berdasarkan hasil analisis penyulang dengan satu pelanggan, penyulang dengan susut yang paling rendah merupakan penyulang dengan pelanggan industri. Susut total dalam penyulang sebesar 31.60 kWh atau 0.16%. Hal yang perlu diperhatikan adalah nilai beban rata-rata pelanggan industri yang diperoleh pada laporan akhir susut PLN tahun 2007 (terlampir). Nilai beban rata-rata maksimum sekitar sepuluh kali dari nilai beban rata-rata pelanggan residensial. Sedangkan untuk jumlah pelanggan residensial jauh lebih banyak dari pelanggan industri hingga 400 kali lipat (data jumlah pelanggan terlampir). Meski secara keseluruhan beban rata-rata industri paling besar dibandingkan dengan pelanggan yang lain, jumlah pelanggan yang sedikit mengakibatkan persen pemakaian menjadi rendah. Hal ini dapat dilihat dari persamaan 3.5. Dari segi efisiensi total, penyulang dengan pelanggan industri juga lebih baik yaitu sebesar 99.84%. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi dan susut saling berbanding terbalik. Makin besar susut energi dalam jaringan, maka nilai efisiensi akan makin kecil. Dengan kapasitas penyulang dan karakteristik yang diasumsikan sama maka nilai

susut hanya dipengaruhi oleh perilaku pelanggan. Profil pelanggan menjadi faktor penting penentu besarnya susut. Profil pelanggan untuk beban residensial, bisnis, dan industri dapat dilihat pada kurva 3.1, 3.2, dan 3.3.

Berikut data hasil analisis untuk penyulang dengan satu pelanggan,

Tabel 4.9: Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Satu Jenis Pelanggan

SATU PELANGGAN	Residensial	Bisnis	Industri
$E_{out}$ total (kWh)	26837.72	23470.16	19522.77
$P_{out}$ rata-rata (kW)	1118.24	977.92	813.45
$P_{out}$ maks (kW)	1469.85	1498.17	1331.53
$E_{losses}$ total (kWh)	53.30	45.20	31.60
$E_{losses}$ total (%)	0.20	0.19	0.16
Efisiensi	99.80	99.81	99.84
STDEV	176.10	367.90	321.00

Dari tabel di atas, apabila ditinjau dari bentuk grafik yang mendekati ideal, maka penyulang dengan beban residensial yang paling mendekati ideal dibandingkan dengan dua yang lain. Hal ini dapat dilihat dari nilai standar deviasi penyulang dengan beban residensial lebih kecil dari yang lain. Sedangkan untuk nilai daya keluaran maksimum, pelanggan dengan beban industri jauh lebih kecil yaitu sebesar 1332 kW. Hal ini menunjukkan beban puncak penyulang dengan beban industri lebih rendah dibandingkan dengan yang lain.

Nilai standar deviasi juga dapat digunakan untuk menentukan jumlah susut dalam jaringan. Namun yang perlu diperhatikan jumlah energi keluaran dalam jaringan harus sama agar nilai susut hanya dipengaruhi oleh standar deviasi. Hal ini dapat dilihat pada penyulang dengan beban dua jenis pelanggan antara residensial bisnis dengan komposisi 30:70 dan residensial industri dengan komposisi 70:30. Untuk nilai energi total yang hampir sama bahkan lebih tinggi penyulang dengan komposisi residensial bisnis, namun susut yang dihasilkan lebih rendah pada penyulang dengan komposisi residensial industri. Nilai standar deviasi dari penyulang dengan beban residensial industri jauh lebih kecil, bahkan mencapai setengah kali dari nilai standar deviasi penyulang dengan beban residensial bisnis.

#### 4.5.2 Penyulang dengan Beban Dua Jenis Pelanggan

Variasi pembebanan penyulang meliputi kombinasi antara beban residensial-bisnis, residensial-industri, dan bisnis-industri. Berikut tabel untuk menjelaskan ketiga variasi tersebut,

Tabel 4.10: Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Residensial-Bisnis

<b>Residensial-Bisnis</b>	<b>70-30</b>	<b>30-70</b>	<b>50-50</b>
<b><math>E_{out}</math> total (kWh)</b>	25829.07	24482.04	25155.86
<b><math>P_{out}</math> rata-rata (kW)</b>	1076.21	1020.09	1048.16
<b><math>P_{out}</math> maks (kW)</b>	1389.56	1362.17	1336.01
<b><math>E_{losses}</math> total (kWh)</b>	49.25	46.02	47.33
<b><math>E_{losses}</math> total (%)</b>	0.19	0.19	0.19
<b>Effisiensi</b>	99.81	99.81	99.81
<b>STDEV</b>	161.90	260.67	200.51

Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan antara daya maksimum, susut, dan standar deviasi masing – masing variasi pembebanan pelanggan residensial dan bisnis. Berdasarkan tabel di atas, bila ditinjau dari segi susut yang dihasilkan dalam jaringan, maka ketiga variasi di atas memiliki nilai susut yang sama besar yaitu 0.19%. Berdasarkan bentuk grafik, penyulang dengan variasi satu paling mendekati ideal dengan nilai standar deviasi yang paling rendah.

Hal yang perlu diperhatikan adalah dengan jumlah energi masukan yang berbeda – beda namun memiliki persentase susut energi yang sama. Bila diperhatikan, hal yang membedakan selain energi masukan adalah standar deviasi. Dari ketiga variasi di atas, variasi satu memiliki nilai energi total paling tinggi namun standar deviasi yang terendah, sehingga susut yang terjadi sebesar 0.19%. Pada variasi dua, energi total memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan yang lain namun standar deviasi paling tinggi, susut yang terjadi juga sebesar 0.19%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai standar deviasi maka nilai susut juga semakin besar seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya.

Untuk nilai daya keluaran maksimum, variasi tiga memiliki nilai yang paling rendah sebesar 1336 kW.

Tabel 4.11 : Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Residensial-Industri

<b>Residensial-Industri</b>	<b>70-30</b>	<b>30-70</b>	<b>50-50</b>
<b>E<sub>out</sub> total (kWh)</b>	24645.50	21719.52	23182.94
<b>P<sub>out</sub> rata-rata (kW)</b>	1026.90	904.98	965.96
<b>P<sub>out</sub> maks (kW)</b>	1254.05	1238.23	1178.76
<b>E<sub>losses</sub> total (kWh)</b>	44.54	35.88	39.77
<b>E<sub>losses</sub> total (%)</b>	0.18	0.16	0.17
<b>Efisiensi</b>	99.82	99.84	99.83
<b>STDEV</b>	128.08	212.58	154.58

Tabel 4.11 menunjukkan parameter – parameter untuk variasi pembebanan pelanggan residensial dan industri. Nilai susut paling rendah dalam penyulang terdapat pada variasi dua dimana komposisi antara pelanggan residensial dan industri 30:70. Nilai susut sebesar 0.16% atau sebesar 36 kWh. Sedangkan untuk bentuk grafik, penyulang yang mendekati keadaan ideal adalah penyulang dengan variasi satu dimana persentase antara pelanggan residensial dan industri 70:30. Nilai standar deviasi sebesar 128. Nilai daya maksimum paling rendah dibandingkan dengan yang lain terdapat pada variasi tigadengan komposisi 50% beban residensial dan 50% beban industri, sebesar 1179 kW.

Tabel 4.12 : Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Bisnis-Industri

<b>Bisnis-Industri</b>	<b>70-30</b>	<b>30-70</b>	<b>50-50</b>
<b>E<sub>out</sub> total (kWh)</b>	22286.40	20707.45	21497.00
<b>P<sub>out</sub> rata-rata (kW)</b>	928.60	862.81	895.71
<b>P<sub>out</sub> maks (kW)</b>	1418.65	1357.00	1376.72
<b>E<sub>losses</sub> total (kWh)</b>	40.68	35.25	37.88
<b>E<sub>losses</sub> total (%)</b>	0.18	0.17	0.18
<b>Efisiensi</b>	99.82	99.83	99.82
<b>STDEV</b>	346.50	327.31	335.45

Tabel 4.12 menunjukkan perbandingan antar parameter untuk penyulang dengan variasi pembebanan bisnis dan industri. Dari segi susut, penyulang dengan variasi dua memiliki nilai susut yang paling kecil sebesar 0.17% atau 35 kWh. Berdasarkan bentuk grafik penyulang, variasi dua paling mendekati bentuk ideal. Hal ini dikarenakan nilai standar deviasi yang paling kecil sebesar 327. Pada variasi dua, nilai daya keluaran maksimum juga paling rendah dibandingkan dengan dua variasi yang lain yaitu sebesar 1357 kW.

#### 4.5.3 Penyulang dengan Beban Tiga Jenis Pelanggan

Tabel 4.13 : Hasil Analisis Penyulang dengan Beban Tiga Jenis Pelanggan

TIGA PELANGGAN	50R25B25I	50B25R25I	50I25B25R	33R33B33I
$E_{out}$ total (kWh)	24169.54	23327.10	22340.50	23046.80
$P_{out}$ rata-rata (kW)	1007.06	971.96	930.85	960.28
$P_{out}$ maks (kW)	1223.07	1318.55	1277.76	1248.62
$E_{losses}$ total (kWh)	43.42	41.90	38.30	40.30
$E_{losses}$ total (%)	0.18	0.18	0.17	0.17
Efisiensi	99.82	99.82	99.83	99.83
STDEV	174.31	256.08	239.70	218.17

Tabel 4.13 menunjukkan perbandingan parameter susut, daya keluaran maksimum, dan standar deviasi untuk penyulang dengan tiga jenis beban. Nilai minimum untuk susut sebesar 0.17% pada variasi tigadimana pelanggan industri lebih dominan dan variasi empat dimana komposisi semua jenis pelanggan sama besar. Untuk nilai maksimum daya keluaran penyulang dengan variasi satu memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan ketiga variasi lainnya. Nilai daya keluaran maksimum sebesar 1223 kW. Berdasarkan standar deviasi, penyulang yang memiliki bentuk grafik paling mendekati ideal adalah penyulang dengan variasi satu. Nilai standar deviasi sebesar 174, paling rendah diantara variasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya nilai yang menyimpang dari nilai rata – rata lebih sedikit dibanding dengan penyulang dengan variasi yang lain.

#### 4.5.4 Analisis Daya Keluaran dan Susut Energi

Parameter – parameter seperti daya keluaran dan susut energi yang telah didapat melalui pengolahan data sebelumnya, dicari persamaan yang menghubungkan keduanya. Metode yang digunakan adalah metode linier. Daya keluaran yang nilainya berbeda untuk masing – masing pelanggan maupun variasi yang dilakukan terhadap masing – masing pelanggan akan menghasilkan sebuah parameter yang mewakili perubahan beban dan pengaruhnya terhadap susut energi. Parameter susut merupakan hasil rata – rata dari semua jenis variasi pemodelan. Baik parameter daya keluaran dan susut merupakan nilai rata – rata tiap jam selama satu hari. Semua nilai daya keluaran dan susut pada jam yang

sama pada semua model dijumlahkan lalu dibagi dengan total variasi pembebanan.

Berikut ditampilkan tabel untuk menentukan pendekatan regresi linier dimana nilai x merupakan variabel yang mewakili daya keluaran dan nilai y merupakan variabel yang mewakili susut energi,

Tabel 4.14 : Data Regresi Linier untuk Hubungan Daya Keluaran dan Susut

Jam	x	y	xx	yy	xy
0	765.49	1.08	585968.24	1.16	824.30
1	733.94	0.99	538669.99	0.98	725.59
2	715.84	0.94	512430.95	0.88	672.18
3	714.87	0.94	511043.92	0.87	668.49
4	692.54	0.87	479614.33	0.76	603.51
5	688.69	0.86	474293.87	0.75	594.82
6	621.19	0.70	385870.81	0.49	434.57
7	699.86	0.87	489799.74	0.75	605.45
8	966.40	1.62	933925.68	2.62	1565.05
9	1120.13	2.19	1254690.64	4.78	2449.00
10	1140.09	2.27	1299798.84	5.14	2584.31
11	1223.46	2.62	1496862.60	6.87	3206.17
12	1131.64	2.24	1280600.25	5.01	2533.35
13	1163.05	2.37	1352682.92	5.64	2760.87
14	1260.40	2.78	1588603.90	7.70	3498.24
15	1257.85	2.77	1582175.08	7.66	3482.43
16	1220.40	2.60	1489385.63	6.75	3170.75
17	1153.11	2.33	1329666.19	5.44	2688.97
18	1084.38	2.08	1175876.62	4.33	2256.79
19	1139.99	2.31	1299584.17	5.35	2637.24
20	1103.14	2.17	1216924.44	4.71	2395.06
21	981.66	1.73	963664.09	3.01	1703.08
22	880.56	1.41	775389.05	1.98	1238.63
23	805.09	1.19	648173.28	1.43	961.90
<b>Total</b>	<b>23263.77</b>	<b>41.92</b>	<b>23665695.22</b>	<b>85.06</b>	<b>44260.75</b>
<b>Rata - Rata</b>	<b>969.32</b>	<b>1.75</b>			

$$\begin{aligned}
 SS_{xy} &= xy - \frac{x \cdot y}{n} && \text{(persamaan 4.8)} \\
 &= 44260.75 - \frac{(23263.77)(41.92)}{24} \\
 &= 3626.70
 \end{aligned}$$



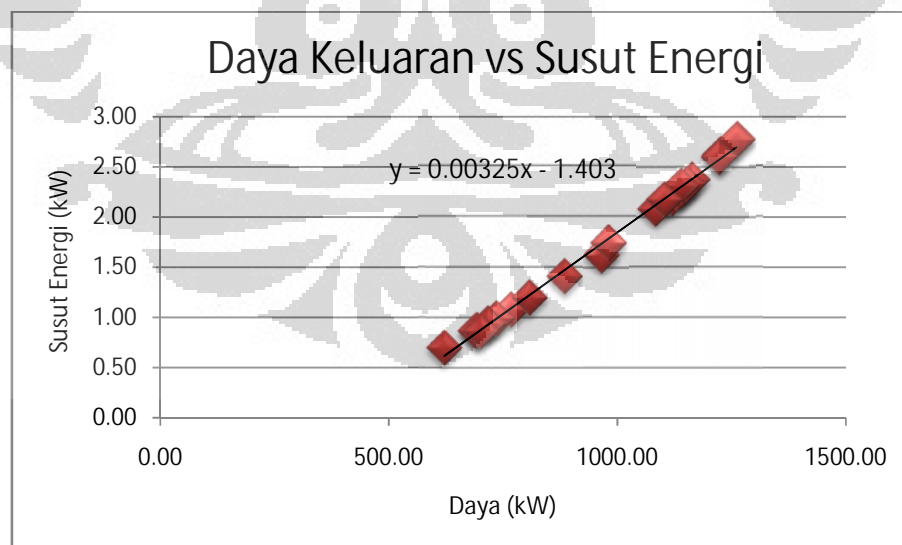
$$\begin{aligned}
 SS_{xx} &= x^2 - \frac{(x)^2}{n} && \text{(persamaan 4.9)} \\
 &= 23665695.22 - \frac{(541202994.6)}{24} \\
 &= 1115570.45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} && \text{(persamaan 4.10)} \\
 &= \frac{3626.70}{1115570.45} \\
 &= 0.00325 \\
 a &= -b \\
 &= 1.75 - 0.00325 \times 969.32 \\
 &= -1.403
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapat persamaan regresi linier  $y = bx + a$  sebagai berikut,

$$y = 0.00325x - 1.403 \quad \text{(persamaan 4.11)}$$

Standar deviasi yang diperoleh sebesar 0.052 kW. Berikut kurva yang menunjukkan hubungan antara dayakeluaran dan susut energi,



Kurva 4.16 : Kurva  $P_{out}$  vs  $P_{susut}$

Pada kurva di atas, hasil yang didapat sesuai dengan teori yang ada dimana daya keluaran sebanding dengan susut energi yang timbul dalam penyulang. Semakin besar permintaan daya dari pelanggan, maka daya keluaran pada penyulang semakin besar. Hal ini mengakibatkan susut yang timbul dalam jaringan semakin besar dan dapat dilihat pada pemakaian puncak masing – masing pelanggan, sebagai contoh adalah pelanggan residensial, pada jam 18:00 s.d 22:00 susut yang terjadi dalam jaringan lebih besar dibandingkan saat waktu luar beban puncak.

#### **4.6 Analisis Perkiraan Pertumbuhan Beban**

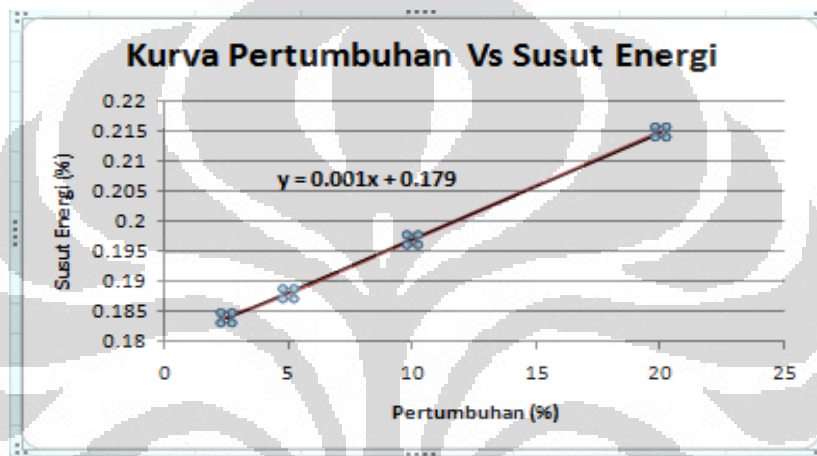
Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, dapat dilihat pertumbuhan beban terhadap susut energi yang terjadi di dalam penyulang. Komposisi beban yang diperkirakan pertumbuhannya adalah komposisi penyulang dengan tiga jenis pelanggan dimana beban residensial lebih dominan sebesar 50% dan beban bisnis serta industri sebesar 25%. Penyulang dengan tiga beban dipilih karena pada umumnya penyulang terdiri dari beberapa jenis pelanggan tidak hanya satu jenis pelanggan kecuali untuk pelanggan khusus seperti industri dengan kapasitas di atas 200 kVA sebagai contoh. Penyulang dengan komposisi pelanggan residensial lebih dominan memiliki nilai susut energi yang cukup rendah dan nilai daya maksimum serta nilai standar deviasi paling rendah dibandingkan dengan yang lain. Jumlah pelanggan yang paling banyak diantara jenis pelanggan yang lain juga menjadi faktor pertimbangan untuk memperkirakan pertumbuhan penyulang dengan komposisi beban ini.

Pertumbuhan untuk masing – masing jenis pelanggan diasumsikan sama besar, baik pelanggan residensial, bisnis, dan industri. Untuk melihat pengaruh perubahan beban terhadap susut energi pada penyulang, ditentukan pertumbuhan dalam penyulang sebesar 2.5 %, 5 %, 10 %, dan 20 %. Berdasarkan laporan tahunan PLN area Cempaka Putih, pertumbuhan beban secara keseluruhan di penyulang angin sebesar 10 % pada periode 2010 s.d. 2011. Berikut hasil perhitungan susut energi terhadap pertumbuhan yang telah disebutkan di atas,

Tabel 4.15 : Pertumbuhan Beban dan Susut Energi pada Penyulang

No	Pertumbuhan (%)	Susut (%)
1	2.5	0.184
2	5	0.188
3	10	0.197
4	20	0.215

Untuk memudahkan pembacaan data di atas berikut ditampilkan kurva yang memperlihatkan hubungan pertumbuhan dan susut energi,



Kurva 4.17: Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Susut Energi

Pada kurva di atas, dapat dijelaskan bahwa pertumbuhan beban berbanding lurus dengan susut energi yang ditimbulkan dalam penyulang. Semakin tinggi pertumbuhan beban dalam penyulang, semakin tinggi susut yang terjadi. Pertumbuhan beban menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh pelanggan semakin tinggi. Dengan menggunakan kapasitas sistem yang diasumsikan tetap, dapat diperkirakan pertumbuhan beban dan waktu yang tepat untuk menaikkan kapasitas sistem apabila susut energi tinggi. Hal yang perlu diperhatikan dalam pertumbuhan beban selain nilai susut dalam penyulang yaitu nilai beban puncak dalam penyulang. Apabila beban puncak dalam penyulang melebihi kapasitas penyulang meskipun dalam waktu yang relatif singkat, namun hal itu dapat mengurangi kehandalan dan umur pakai dari sistem. Dalam menentukan hubungan pertumbuhan beban dan susut energi yang timbul dalam jaringan digunakan metode regresi linier. Persamaan yang menghubungkan kedua variabel tersebut yaitu  $y = 0.001x + 0.179$ .

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, berikut ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut,

- a. Susut energi maksimum terjadi pada saat pemakaian daya maksimum dimana pada pelanggan residensial berlangsung pada pukul 18:00 s.d. 22:00, pelanggan bisnis 08:00 s.d. 21:00, dan pelanggan industri pukul 08:00 s.d. 17:00.
- b. Pada penyulang dengan energi keluaran yang sama, nilai standar deviasi makin tinggi maka susut pada penyulang juga semakin tinggi.
- c. Pada penyulang dengan beban satu jenis pelanggan, pelanggan industri memiliki nilai susut energi paling rendah yaitu 0.16% dan daya keluaran maksimum paling rendah yaitu sebesar 1332 kW.
- d. Pada penyulang dengan beban dua jenis pelanggan, nilai susut energi minimum terjadi pada variasi pelanggan residensial dan industri dengan komposisi 30%:70% yaitu 0.16%, sedangkan untuk daya keluaran maksimum terendah terjadi pada variasi pelanggan residensial dan industri dengan persentase 50%:50% sebesar 1179 kW.
- e. Pada penyulang dengan tiga jenis pelanggan, penyulang dengan pelanggan industri lebih dominan dan variasi beban merata, memiliki nilai susut energi paling rendah yaitu 0.17%. Untuk daya maksimum paling rendah terjadi pada penyulang dengan pelanggan residensial lebih dominan sebesar 1223 kW.
- f. Penyulang dikatakan mendekati kondisi ideal apabila susut energi pada penyulang rendah, standar deviasi rendah, dan nilai maksimum daya keluaran rendah.

## DAFTAR ACUAN

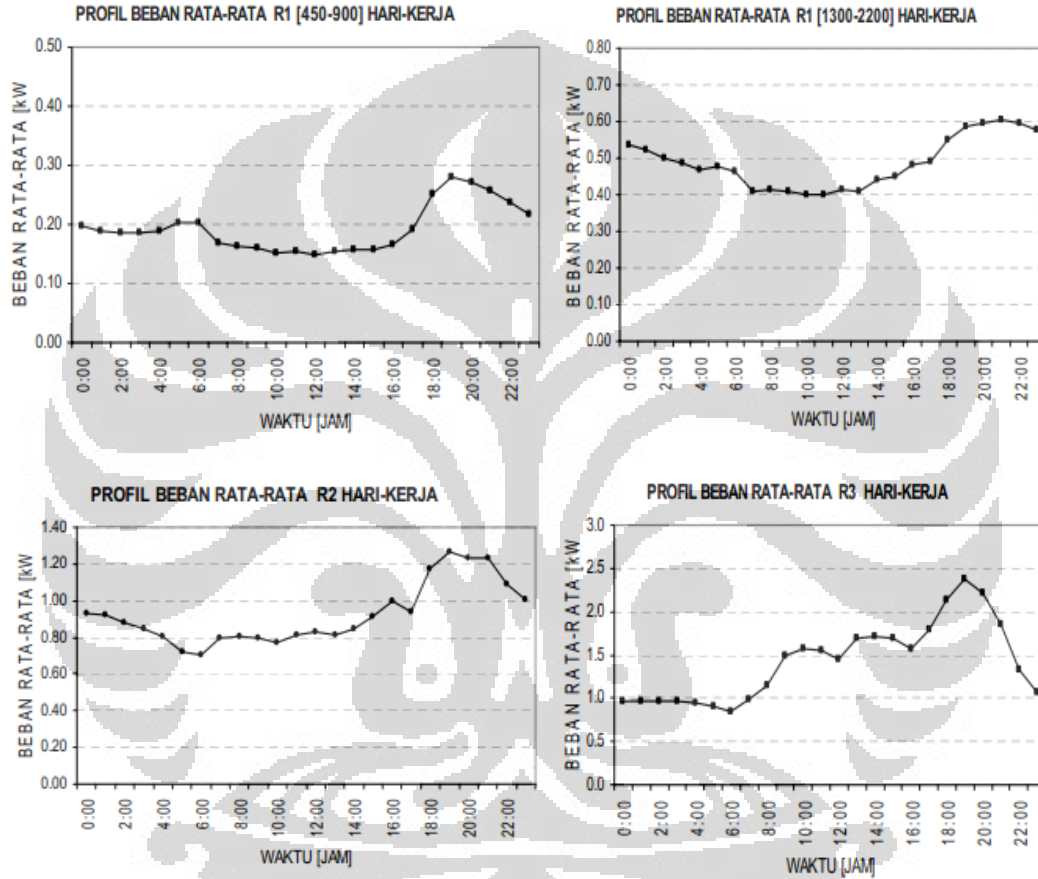
- [1] PT Perusahaan Listrik Negara. *SPLN no 1 tahun 1995: Tegangan Tegangan Standar*. Jakarta : 1995
- [2] Daru Andini, Gardina. Rancang Bangun Switchyard 150 kV dengan Sistem Otomasi Gardu Induk pada PT Bekasi Power. *Laporan Kerja Praktik*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- [3] PT Perusahaan Listrik Negara. *SPLN no 59 tahun 1985: Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*. Jakarta : 1985
- [4] Suswanto, Daman, 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. 17 Maret 2012. <<http://dekop.files.wordpress.com/2010/09/sistem-distribusi-tenaga-listrik.pdf>>
- [5] Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [6] Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- [7] PT Perusahaan Listrik Negara. *SPLN 43-5-4 tahun 1995: Kabel Tanah Inti Tiga Berisolasi XLPE dan Berselubung PE/PVC dengan atau Tanpa Perisai Tegangan Pengenal 3.6/6 (7.2) kV S/D 12/20 (24) kV*. Jakarta : 1995

**RESISTANSI PENGHANTAR (KABEL) INSTALASI TETAP  
PADA SUHU 20<sup>0</sup>C**

Luas penampang nominal mm <sup>2</sup>	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	35,3	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	13,90	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	1,41	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

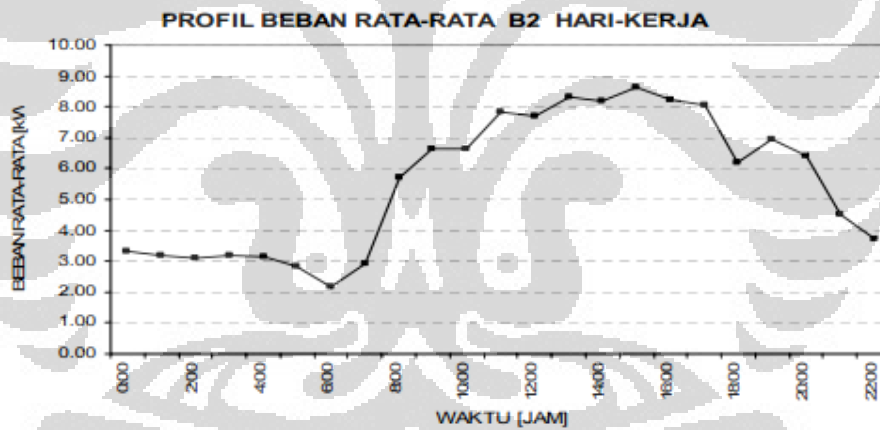
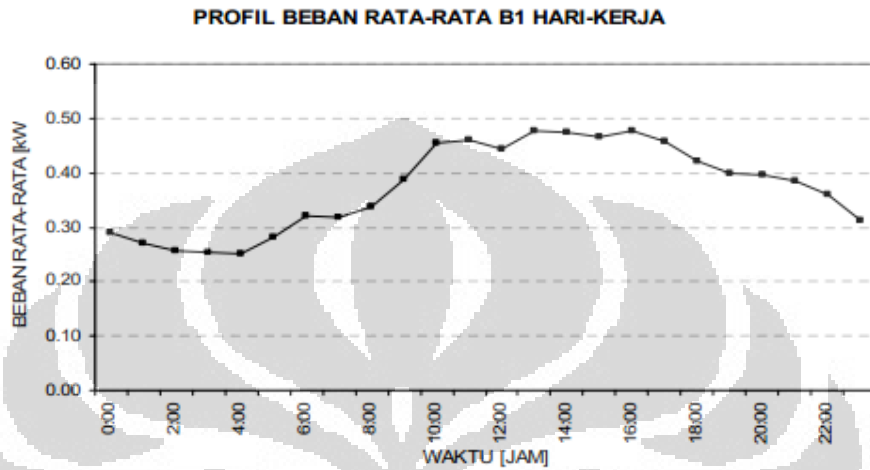
Sumber : Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000)

**PROFIL BEBAN RATA – RATA PELANGGAN RESIDENSIAL**



Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007

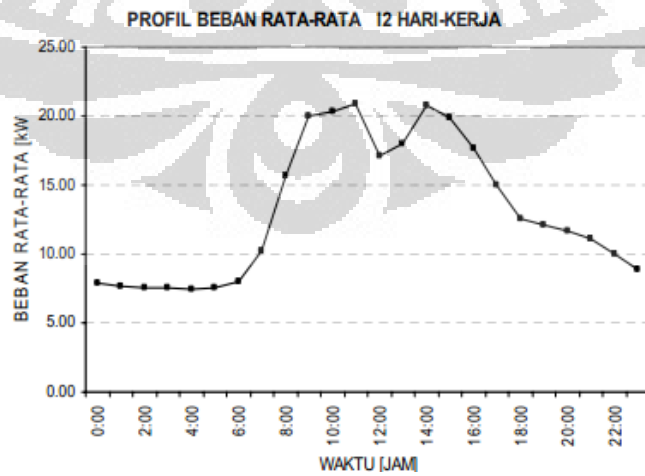
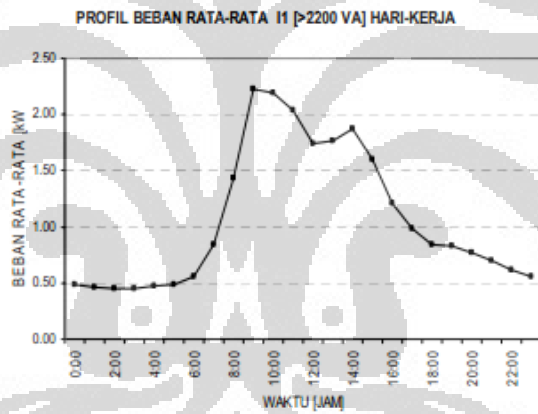
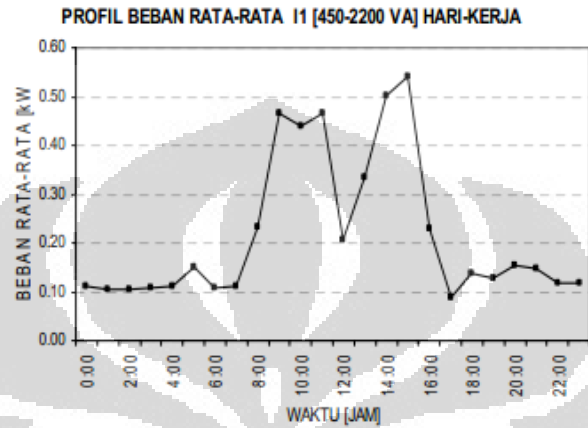
**PROFIL BEBAN RATA – RATA PELANGGAN BISNIS TR**



Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007



PROFIL BEBAN RATA – RATA PELANGGAN INDUSTRI TR



Sumber : Laporan Akhir Profil Beban PLN, 2007

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

Jumlah Pelanggan			Daya Terpasang ( VA)		
R	B	I	R	B	I
169394	11549	410	292276400	97039100	23617200

Jenis Pelanggan		Jumlah Pelanggan
Residensial	R1 : (450 - 900 VA)	61945
	R1 : (1300 - 2200 VA)	90049
	R2	13689
Bisnis	R3	3711
	B1	8232
	B2	3317
Industri	I1	88
	I2	322

Sumber : Laporan Bulanan PLN Area Cempaka Putih, 2012

Keterangan :

R = Residensial

B = Bisnis

I = Industri

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

Jam	Residensial		Jam	Bisnis		Jam	Industri	
	Daya	Persen Pembebanan		Daya	Persen Pembebanan		Daya	Persen Pembebanan
0	0.46	31	0	1.19	17	0	5.70	13
1	0.44	30	1	1.12	16	1	5.60	13
2	0.43	29	2	1.08	15	2	5.60	13
3	0.43	29	3	1.10	15	3	5.60	12
4	0.40	28	4	1.07	15	4	5.60	13
5	0.40	28	5	1.04	15	5	5.60	13
6	0.36	25	6	0.86	12	6	5.70	13
7	0.36	24	7	1.06	15	7	7.20	16
8	0.36	25	8	1.90	27	8	11.00	25
9	0.37	25	9	2.20	31	9	14.10	33
10	0.37	25	10	2.25	32	10	14.50	34
11	0.37	25	11	2.60	37	11	15.00	35
12	0.38	26	12	2.56	36	12	12.00	28
13	0.37	26	13	2.72	38	13	12.50	29
14	0.40	27	14	2.69	38	14	15.00	35
15	0.41	28	15	2.83	40	15	14.00	33
16	0.44	30	16	2.69	38	16	12.20	29
17	0.44	30	17	2.64	37	17	10.20	24
18	0.54	37	18	2.09	29	18	8.60	20
19	0.57	39	19	2.27	32	19	8.40	20
20	0.57	39	20	2.12	30	20	8.00	19
21	0.55	38	21	1.57	22	21	7.80	19
22	0.51	35	22	1.36	19	22	7.00	16
23	0.49	33	23	1.25	18	23	6.00	13

Ket:

Daya = kW

Persen Pembebanan = %