



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT ENERGI PADA SALURAN DISTRIBUSI
DENGAN VARIASI BEBAN PELANGGAN BISNIS**

SKRIPSI

HARIS HAKIM

0806330932

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT ENERGI PADA SALURAN DISTRIBUSI
DENGAN VARIASI BEBAN PELANGGAN BISNIS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

HARIS HAKIM

0806330932

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
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 : Haris Hakim

NPM : 0806330932

Tanda Tangan :

Tanggal : 27 Juni 2012



HALAMAN PENGESAHAN

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

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir I Made Ardita, MT

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

Penguji : Ir Amien Rahardjo, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada ALLAH SWT Tuhan Semesta Alam, karena atas berkah dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari sangat sulit dilakukan penelitian ini tanpa bantuan, doa, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Ir. I Made Ardita Y., MT selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Orang tua, Kakak beserta Istri dan Adik saya atas dukungan semangat, motivasi, inspirasi dan doa sehingga penulisan ini dapat dirampungkan.
- 3) Karyawan-karyawan PT PLN area pelayanan Cempaka Putih, yang telah memberikan bantuan dalam proses pencarian data aset.
- 4) Tim Susut, saudara Alfian Yusuf Habibie, Pandu Nugroho, Aditya Prihambada atas kerjasama dalam menyelesaikan penelitian ini.
- 5) Mesara Gusdi atas keihlasannya memberikan semangat, inspirasi, dan doa serta telah menjadi tandem diskusi terbaik selama penyelesaian penelitian.
- 6) Sahabat, saya di angkatan 2008. Semoga kita menjadi orang besar suatu saat dengan cita-cita kita masing masing.
- 7) IKM FT UI atas pelajaran, pengalaman serta inspirasinya. Semoga cita-cita kode etik menjadi pedoman saya terus hingga nanti.

Akhir kata, saya harap Allah SWT berkenan memberi balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Amin.

Depok, 2012



Haris Hakim

ABSTRAK

Nama : Haris Hakim
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Susut Energi pada Saluran Distribusi dengan Variasi Beban Pelanggan Bisnis.

Di dalam sistem tenaga listrik dikenal faktor rugi atau penyusutan dari energi. Penyusutan ini dapat ditemukan di berbagai tempat pada jaringan tenaga listrik, mulai dari pembangkitan, transmisi sampai dengan jaringan distribusi kepada konsumen. Sebagian besar susut ini terjadi pada jaringan distribusi. Hal ini disebabkan karena pada jaringan distribusi, tegangan yang dipakai berada level tegangan rendah dan menengah dimana arus yang mengalir juga menjadi besar sehingga penyusutan bernilai besar. Faktor lain yang dapat mengakibatkan terjadinya susut adalah perilaku pembebanan itu sendiri, dimana nilai susut terbesar terjadi pada waktu beban puncak karena pada saat itu trafo bekerja pada kondisi puncak dan arus yang mengalir pada jaringan bernilai besar. Dalam penelitian ini didapatkan suatu hasil perhitungan dimana pada suatu kapasitas sistem yang terpasang tetap, susut energi total terbesar terjadi pada komposisi pelanggan bisnis B1100% yaitu setara dengan 5466 kWh (1.716% dari kapasitas sistem). Nilai susut energi total terkecil terjadi pada komposisi 3 jenis beban bisnis (B1 25%, B2 25%, B3 50%) yaitu setara dengan 2430 kWh (1.14% dari kapasitas sistem). Untuk meminimalisir terjadinya susut ini yang mungkin dilakukan adalah dengan menganalisa nilai susut teknis dan berusaha melakukan pemindahan pemakaian listrik dari waktu beban puncak ke luar waktu beban puncak.

Kata Kunci :

Sistem Tenaga Listrik, Jaringan Distribusi, Susut Energi

ABSTRACT

Name : Haris Hakim
Study Prorgam : Teknik Elektro
Title : Enery Losses Analysis on Distribution Network
with Bussines District Load Variation

In electrical power system, there has known the factor of loss or shrinkage of energy. This loss can be found in various places on the electrical power network, from the generator, transmission, to the distribution network of electrical power to the consumer. Most of the loss occurs in the distribution network. This happens because in the distribution network, the voltage that being used is low voltage and medium voltage in which current flow can rise so that the value of loss can become greater. Other Factors that may lead to loss occurrence is the behavior of the loading itself, when most of the loss happens when the load is reaching the highest load because that is when the transformer works on peak condition, and the current that flows on the network become greater. In this research, obtained a result where at a fixed installed system capacity, the greatest energy losses occurs on the 100% load from B1 business customer composition (energy mix) which is the equivalent of 5466 kWh (5.360% of system capacity). The smallest energy loss occurs when the composition (energy mix) of business load is 25% B1, 25%B2, and 50% B3 that is the equivalent of 2430 kWh (1.140% of system capacity). To minimize the occurrence of this energy loss, what we may do is to analyze the value of technical losses and attempt to transfer the consumption out from peak load time

Key Words :

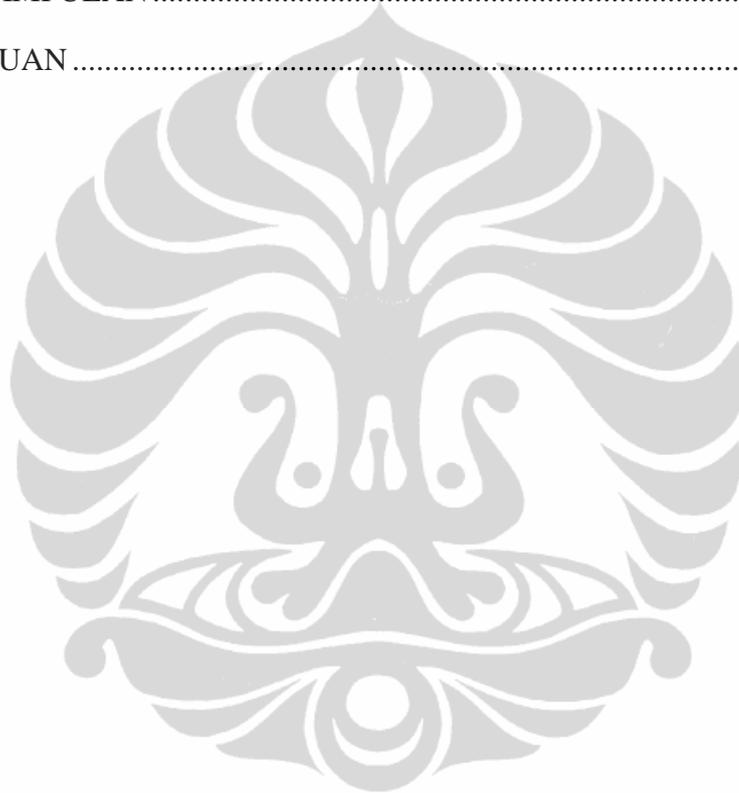
Electrical Power System, Distribution Network, Energy Losses

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Metodologi Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	4
2.1 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK	7
2.1.1 Komponen Sistem Distribusi	7
2.1.2 Karakteristik Sistem Distribudi.....	8
2.2 PENYALURAN TENAGA LISTRIK	11
2.2.1 Gardu Distribusi	11
2.2.2 Penyaluran Setempat.....	13
2.3 TEGANGAN DISTRIBUSI.....	14
2.3.1 Tegangan Menengah (TM)	14

2.3.2	Tegangan Rendah (TR).....	14
2.3.3	Tegangan Pelayanan.....	15
2.4	BEBAN LISTRIK	15
2.4.1	Klasifikasi Pelanggan Listrik Sektor Rumah Tangga	15
2.4.2	Karakteristik Beban Listrik	16
2.4.3	Kurva Beban dan Beban Puncak.....	18
2.4.4	Manajemen Beban Listrik.....	19
2.5	PENYUSUTAN ENERGI PADA JARINGAN DISTRIBUSI.....	21
2.5.1	Konduktor Fasa	22
2.5.2	Kabel Distribusi.....	23
2.5.3	Faktor Daya.....	25
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1	Tahapan Persiapan.....	29
3.2	Tahapan Pra Penelitian.....	29
3.3	Tahapan Pemilihan Data	30
3.4	Tahapan Pengolahan Data	36
3.4.1	Parameter Penghitungan Susut Energi.....	36
3.4.2	Formula Penghitungan Susut	38
3.5	Tahap Analisa Data	39
BAB 4	PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	41
4.1	PERHITUNGAN SUSUT ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH BEBAN SERAGAM.....	44
4.2	PEHITUNGAN SUSUT ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH BEBAN TIDAK SERAGAM	49
4.2.1	Perhitungan Susut Energi Beban B1 dan B2.....	49
4.2.2	Perhitungan Susut Energi Beban Beban B2 dan B3	52

4.2.3	Perhitungan Susut Energi Beban B1 dan B3.....	54
4.2.4	Perhitungan Susut Energi Beban B1, B2 dan B3.....	57
4.3	ANALISA	60
4.3.1	Analisa Hubungan Pin terhadap Susut Energi	60
4.3.2	Analisa Total Pemakaian Energi Listrik Sehari dengan Susut Energi	63
BAB V KESIMPULAN		74
DAFTAR ACUAN		74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Gambar Tiga Komponen Utama Dalam Penyaluran Tenaga Listrik	4
Gambar 2. 2	Skema Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2. 3	Gambar Komponen Penyusun Sistem Distribusi	8
Gambar 2. 4	Konstruksi Gardu Beton	11
Gambar 2. 5	Konstruksi Gardu Kios	12
Gambar 2. 6	Konstruksi Gardu Portal	12
Gambar 2. 7	Konstruksi Gardu Mobil	13
Gambar 2. 8	Saluran Distribusi Tegangan Rendah	14
Gambar 2. 9	Gambar Penampang Kabel Distribusi	24
Gambar 2. 10	Gambar Segitiga Daya	26
Gambar 3. 1	Alur (<i>Flow Chart</i>) Metodologi Penelitian	28
Gambar 3. 2	Ilustrasi Alur Penyaluran Energi Listrik	31
Gambar 3. 3	Gambar Ilustrasi Jaringan	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tarif Dasar Listrik Untuk Keperluan Bisnis	16
Tabel 3. 1 Tabel Jaringan Distribusi Gardu S. 35.....	32
Tabel 3. 2 Resistansi Kabel Distribusi	33
Tabel 3. 3 Klasifikasi Pelanggan Sektro Bisnis	34
Tabel 3. 4 Tabel Persen Pembebanan Trafo.....	35
Tabel 3. 5 Variasi Pembebanan Gardu Distribusi S. 35	39
Tabel 4. 1 Pengolahan Data Susut Energi Beban Seragam.....	47
Tabel 4. 2 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2).....	50
Tabel 4. 3 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B2 B3).....	53
Tabel 4. 4 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B2 B3).....	55
Tabel 4. 5 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3) ...	58
Tabel 4. 6 Data Acuan Regresi Linier (P_{out} vs Susut Enegi).....	61
Tabel 4. 7 Tabel Analisa Total Harian	64
Tabel 4. 8 Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Susut Energi.....	72

DAFTAR KURVA

Kurva 3. 1 Profil Beban Pelanggan Golongan Tarif B1	35
Kurva 3. 2 Profil Beban Pelanggan Golongan Tarif B2	35
Kurva 3. 3 Profil Beban Pelanggan Golongan Tarif B3	36
Kurva 4. 1 Kurva Pin Beban Seragam.....	45
Kurva 4. 2 Kurva Susut Energi Beban Seragam.....	47
Kurva 4. 3 Kurva Efisiensi Beban Seragam	48
Kurva 4. 4 Kurva Pin Beban Tidak Seragam(B1,B2).....	49
Kurva 4. 5 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2).....	51
Kurva 4. 6 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B1,B2)	51
Kurva 4. 7 Kurva Pin Beban Tidak Seragam (B2,B3)	52
Kurva 4. 8 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B2,B3).....	53
Kurva 4. 9 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B2,B3)	54
Kurva 4. 10 Kurva Pin Beban Tidak Seragam (B1,B3).....	55
Kurva 4. 11 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B3).....	56
Kurva 4. 12 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B1,B3)	56
Kurva 4. 13 Kurva Pin Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3)	57
Kurva 4. 14 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3).....	59
Kurva 4. 15 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3)	59
Kurva 4. 16 Kurva Pengaruh Pin terhadap Susut	62
Kurva 4. 18 Kurva Simpangan Beban B3 Seragam.....	65
Kurva 4. 17 Kurva Simpangan Beban B1 Seragam.....	65
Kurva 4. 19 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam (B1<B2).....	67
Kurva 4. 20 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam (B1>B2).....	67
Kurva 4. 21 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam (B3 Dominan B1=B2) ...	69
Kurva 4. 22 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam (B2 Dominan B1=B3) ...	69
Kurva 4. 23 Kurva Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Susut Energi.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan ini tidak pernah lepas dari kebutuhan akan energi terutama energi listrik. Dengan berkembangnya teknologi dan diikuti juga peningkatan taraf hidup dari masyarakat mengakibatkan peningkatan pada konsumsi listrik dewasa ini. Dimana tingkat konsumsi ini juga akan bertambah seiring dengan kepadatan penduduk di suatu daerah. Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang dalam hal ini merupakan pemegang tunggal kebijakan pemakaian dan pemanfaatan listrik di Indonesia bertanggung jawab penuh terhadap pemenuhan kebutuhan dari masyarakat Indonesia. Sebagian besar aktivitas dari PLN ini adalah menyalurkan energi listrik dari sumber pembangkitan ke konsumen baik yang berada di perumahan, industri, maupun perkantoran (bisnis). Namun, di dalam sistem tenaga listrik itu sendiri dikenal faktor rugi rugi atau penyusutan dari energi. Penyusutan ini dapat ditemukan di berbagai tempat pada jaringan tenaga listrik, mulai dari pembangkitan, transmisi sampai dengan jaringan distribusi kepada pelanggan.

Penyusutan ini akan selalu menjadi pembahasan penting karena ini terkait kualitas daya yang akan dihantarkan kepada konsumen serta dengan menyusutnya energi listrik yang dikirimkan juga berpotensi untuk mengurangi potensi penjualan energi listrik oleh PLN. Bahkan bila tidak diberi perhatian lebih oleh PLN terkait nilai susut ini, akan sangat mungkin nilai energi listrik yang dibeli atau dibangkitkan akan jauh lebih besar dari nilai energi listrik yang dijual atau yang dibayarkan oleh pelanggan. Kondisi ini dapat diartikan sebagai PT PLN menderita kerugian tidak terkontrol secara rupiah.

Secara umum penyusutan ini dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu susut teknis dan susut non teknis. Penyusutan teknis adalah penyusutan yang terjadi sebagai akibat adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat energi yang hilang berupa panas. Sedangkan susut non teknis adalah penyusutan yang terjadi

akibat kesalahan dalam pembacaan alat ukur, kesalahan kalibrasi alat ukur, dan kesalahan akibat pemakaian yang tidak sah (pencurian listrik) atau kesalahan kesalahan lain yang bersifat administratif. Sebagian besar susut ini terjadi pada jaringan distribusi. Hal ini disebabkan karena pada jaringan distribusi, tegangan yang dipakai berada pada tegangan rendah dan menengah dimana arus yang mengalir juga menjadi besar sehingga penyusutan I^2R bernilai besar

Faktor lain yang dapat mengakibatkan terjadinya susut adalah perilaku pembebanan itu sendiri, dimana sebagian besar susut terjadi pada waktu beban puncak karena pada saat itu trafo bekerja pada kondisi puncak dan arus yang mengalir pada jaringan bernilai besar. Sehingga penting untuk dilakukan analisa terkait perilaku pembebanan ini. Untuk pelanggan komersial atau bisnis pemakaian listrik sebagian besar terjadi di luar waktu beban puncak (diluar pukul 17.00–22.00) baik di hari kerja maupun hari libur (sabtu/minggu). Namun, sekalipun konsumsi pelanggan jenis ini sebagian besar di luar waktu beban puncak tetapi penyusutan energi juga pasti terjadi terutama pada saat jam sibuk kerja (jam 08.00-16.00). Untuk meminimalisir terjadinya susut ini yang mungkin dilakukan adalah dengan menganalisa nilai susut teknis dan nilai susut teknis serta berusaha melakukan pemindahan pemakaian listrik dari waktu beban puncak ke luar waktu beban puncak

1.2 Tujuan

Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah untuk mempelajari dan menganalisa perilaku pembebanan pada pelanggan bisnis / komersil, melakukan penghitungan Susut Energi yang terjadi serta menganalisa akibat pembebanan terhadap Susut Energi yang terjadi.

1.3 Metodologi Penelitian

Penulisan diawali dengan dengan melakukan studi literatur yang berkaitan dengan dengan pengukuran rugi – rugi pada saluran transmisi tegangan rendah Selanjutnya dilanjutkan dengan pengambilan data aset, data transaksi energi dan

parameter-parameter yang dibutuhkan dalam menghitung dan menganalisa. Lalu melakukan pengolahan data atau menghitung susut yang terjadi serta menganalisa.

1.4 Batasan Masalah

Skripsi ini memiliki ruang lingkup antara lain,

1. Wilayah studi yang diidentifikasi adalah daerah perkantoran (bisnis) area pelayanan PLN Disjaya yang diwakili oleh salah satu gardu distribusi berpelanggan mayoritas bisnis atau komersil.
2. Susut yang dihitung dan dianalisa merupakan susut teknis pada Distribusi Jaringan Tegangan Rendah.
3. Analisa yang dilakukan adalah dengan melihat pengaruh profil pembebanan terhadap susut energi yang terjadi.

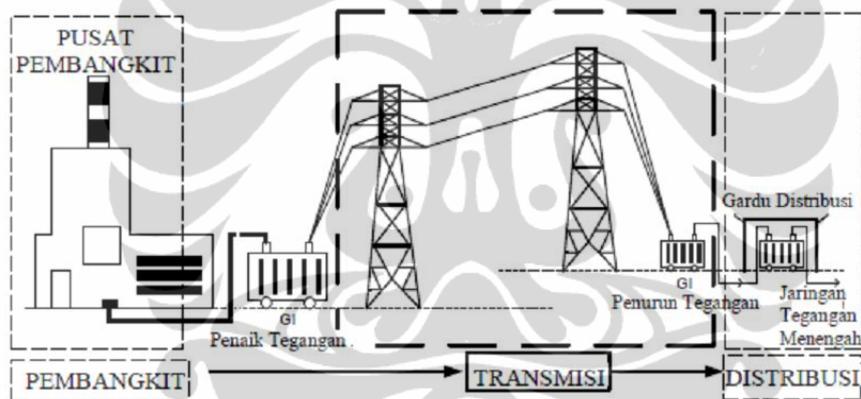
1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas skripsi ini adalah pada bab awal penulisan merupakan bahasan tentang pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan, metodologi penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Pada bab kedua merupakan pembahasan terkait teori pendukung penelitian yang terdiri dari dasar sistem tenaga listrik, komponen penyusun distribusi tenaga listrik dan teori terkait susut distribusi jaringan tegangan rendah. Pada bab berikutnya berisikan metodologi penelitian yang terdiri dari pemilihan objek studi serta formulasi yang digunakan dalam menghitung susut energi. Pada bab terakhir akan ditampilkan hasil pengolahan data susut energi listrik dan analisa terkait hasil pengolahan data tersebut dan diakhiri dengan kesimpulan hasil penelitian

BAB 2

LANDASAN TEORI

Sistem penyaluran listrik yang secara teori disebut sebagai Sistem Tenaga Listrik memiliki pengertian sebagai suatu kesatuan dari unit pembangkitan listrik, unit transmisi listrik, dan unit distribusi listrik yang menyalurkan energi listrik dari produsen (energi listrik dibangkitkan) hingga sampai ke pelanggan. Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu pembangkitan dimana listrik dibangkitkan, penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti pada gambar berikut [3] :



Gambar 2. 1 Gambar Tiga Komponen Utama Dalam Penyaluran Tenaga Listrik

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

Proses menghasilkan atau membangkitkan energi listrik. Listrik ini sendiri dapat dibangkitkan dengan berbagai macam cara baik menggunakan air, udara, panas bumi, nuklir maupun bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil dapat berarti batu bara, gas alam ataupun minyak bumi. Sampai saat ini sebagian besar pembangkit menggunakan bahan bakar fosil untuk melakukan proses pembangkitan energi listrik. Namun, ketergantungan ini sejatinya dapat berdampak buruk karena bahan bakar fosil bukan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui sehingga dapat habis bila digunakan secara terus-menerus. Belum lagi ditambah polusi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang membuat bahan bakar jenis ini tidak ramah terhadap lingkungan. Pada intinya prinsip kerja semua

pembangkit listrik tersebut sama, yaitu menggunakan sumber-sumber energi tersebut untuk memutar turbin yang kemudian akan menghasilkan listrik.

Pada satu sistem kelistrikan biasanya terdiri dari beberapa pembangkit listrik yang dimana semuanya tidak bekerja pada sepanjang waktu. Pengoperasian pembangkit-pembangkit listrik tersebut disesuaikan dengan beban yang beroperasi, apakah sedang beban normal atau beban puncak. Manajemen pengoperasian ini dilakukan dengan melihat dari lama waktu pembangkitan, biaya bahan bakar, dll pada setiap jenis pembangkitan. Sehingga kebutuhan konsumen akan energi listrik tetap terpenuhi tetapi dengan manajemen pembangkitan yang baik.

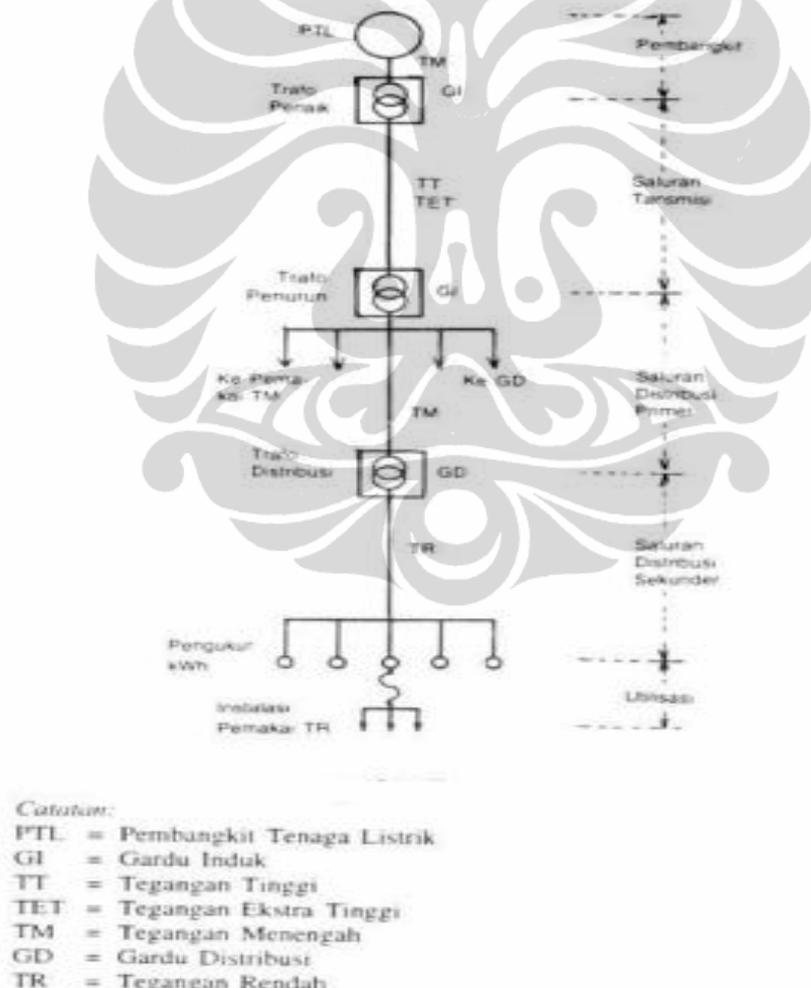
1. Transmisi

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV , 154 kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Kerugian daya listrik akan sangat mungkin terjadi pada jaringan transmisi karena biasanya jarak yang digunakan sangat jauh. Dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir dan resistansi kawat penghantar jaringan transmisi (I^2R). Dengan daya transmisi yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir akan semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan semakin kecil pula.

Komponen penghantar atau konduktor merupakan salah satu komponen terpenting dalam mentransmisikan energi listrik. Konduktor yang paling sering digunakan biasanya terbuat dari bahan baja, tembaga, aluminium, dll. Pemilihan bahan konduktor biasanya merujuk kepada kemampuan daya hantar dari konduktor, kekuatan fisik dan biaya. Perbedaan nilai luas penampang, jenis inti kabel ataupun material yang digunakan biasanya merupakan faktor yang mempengaruhi dari besarnya nilai resistansi dari penghantar dan kemampuan daya hantar dari konduktor itu sendiri.

2. Distribusi

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Sehingga dapat dikatakan Distribusi merupakan segmen yang menghubungkan antara sisi transmisi dengan sisi pelanggan. Jaringan Distribusi Primer tegangan menengah ini biasanya dapat dimodelkan menjadi lima model yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (Tie Line), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.



Gambar 2. 2 Skema Sistem Tenaga Listrik

Susanto, Daman. "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

2.1 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

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

2.1.1 Komponen Sistem Distribusi

Secara umum yang termasuk komponen sistem distribusi antara lain [1]:

1. Gardu Induk

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

2. Jaringan Subtransmisi

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

3. Gardu Distribusi Utama

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

4. Saluran Penyulang Utama

Saluran penyulang utama merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antara gardu distribusi utama dengan gardu transformator

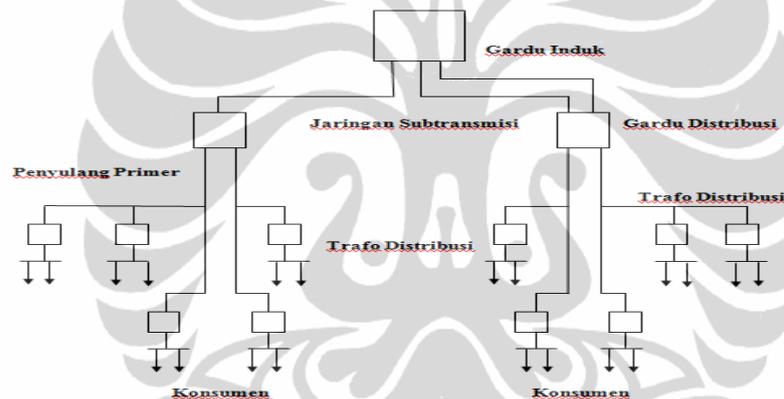
distribusi atau menghubungkan Gardu Induk (GI) dengan transformator distribusi.

5. Transformator Distribusi

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

6. Rangkaian Sekunder

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



Gambar 2. 3 Gambar Komponen Penyusun Sistem Distribusi

Sumber : Electrical Transmission and Distribution Reference Book

2.1.2 Karakteristik Sistem Distribudi

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

1. Kualitas Sistem.

Kualitas sistem erat kaitannya dengan tegangan yang sampai ke pelanggan dan frekuensi dari sistem itu sendiri. Untuk tegangan di Indonesia yang berlaku untuk tegangan rendah adalah 220 Volt tegangan fasa ke tanah.

Kestabilan tegangan itu berada pada rentang -10% dan 5%. Oleh karena itu diperlukan peralatan seperti *Voltage Regulator* untuk menjaga agar tegangan tetap berada pada rentang kestabilannya. Sedangkan untuk frekuensi di Indonesia adalah 50 Hz. Frekuensi sistem ini tidak boleh berubah ubah karena ini sangat mempengaruhi peralatan listrik yang digunakan oleh pelanggan. Dimana jika frekuensi sistem berada di atas atau di bawah 50 Hz maka peralatan listrik yang ada di konsumen tidak dapat bekerja atau bahkan akan merusak peralatan listrik. Syarat kestabilan frekuensi sistem adalah \pm satu persen (1%).

2. Keandalan Sistem

Sistem distribusi yang handal dapat menyalurkan listrik selama 24 jam penuh, tidak mengalami gangguan sama sekali. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke pelanggan dapat diukur dengan jumlah gangguan yang terjadi dalam periode tertentu. Selain dari jumlah gangguan yang terjadi lamanya gangguan juga dapat dijadikan parameter dari keandalan sistem. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen seharusnya tidak sering mengalami pemutusan akibat adanya gangguan ataupun hal – hal yang telah direncanakan seperti pemeliharaan. Pada umumnya kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang berkualitas diprioritaskan untuk beban – beban yang dianggap vital dan tidak dikehendaki sama sekali terjadinya pemadaman, bila pemutusan dilakukan untuk pemeliharaan hendaknya pelanggan mendapatkan informasi terlebih dahulu sehingga tidak ada pihak yang dirugikan.

3. Keselamatan Sistem dan Publik

Selain masalah penyaluran listrik beserta keandalan dan kualitasnya, yang perlu diperhatikan berikutnya adalah perlindungan terhadap penduduk (publik). Yang dimaksudkan sebagai pengamanan terhadap penduduk (public) adalah dengan memberikan rambu-rambu pengamanan dan peringatan untuk masyarakat awam di kawasan bertegangan tinggi yang dimaksudkan agar mengetahui akan bahaya listrik. Sedangkan untuk keselamatan sistem diperlukan sistem pengamanan (proteksi) yang baik dimana dapat melindungi peralatan dan jaringan dari gangguan gangguan

yang terjadi. Pengaman yang baik meliputi sensitivitas yaitu kemampuan untuk mendeteksi gangguan dan selektivitas kemampuan untuk memilah bagian yang mengalami gangguan dan melepaskannya dari sistem.

4. Pemeliharaan Sistem

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

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

- *Breakdown Maintenance*

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

2.2 PENYALURAN TENAGA LISTRIK

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

2.2.1 Gardu Distribusi

Penyaluran daya dengan menggunakan gardu distribusi menggunakan sistem tiga fasa untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) dengan transformator tiga fasa dengan kapasitas yang cukup besar. Jaringan tegangan rendah ditarik dari sisi sekunder transformator untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Sistem tiga fasa tersedia untuk seluruh daerah pelayanan distribusi, walaupun sebagian besar konsumen mendapat pelayanan distribusi tenaga listrik satu fasa. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat udarasistem tiga fasa tiga kawat. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa empat kawat dengan netral. Gardu distribusi sendiri dari instalasinya dapat dibedakan menjadi [2] :

- Gardu Tembok (Gardu Beton)

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

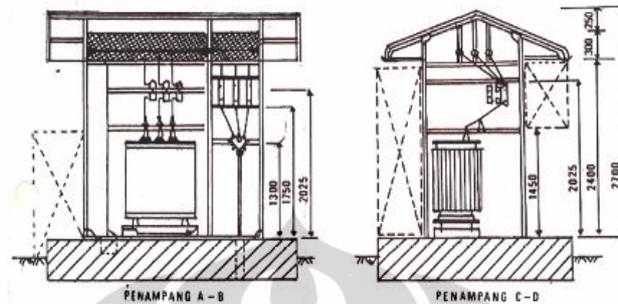


Gambar 2. 4 Konstruksi Gardu Beton

Sumber : Dokumentasi PLN Area Cempaka Putih, 2011

- Gardu Kios (Gardu besi)

Gardu hubung atau gardu trafo yang bangunan keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios.

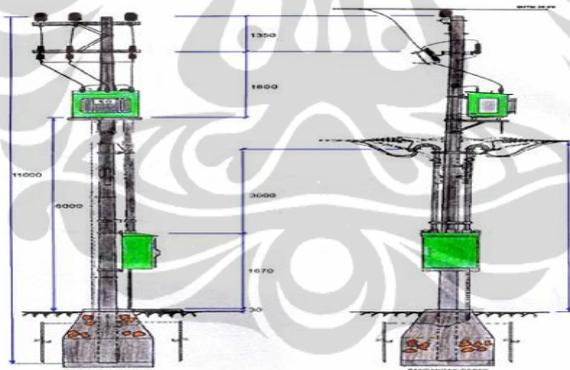


Gambar 2. 5 Konstruksi Gardu Kios

Sumber : Daman Susanto “Sistem Distribusi Tenaga Listrik”

- Gardu Portal

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

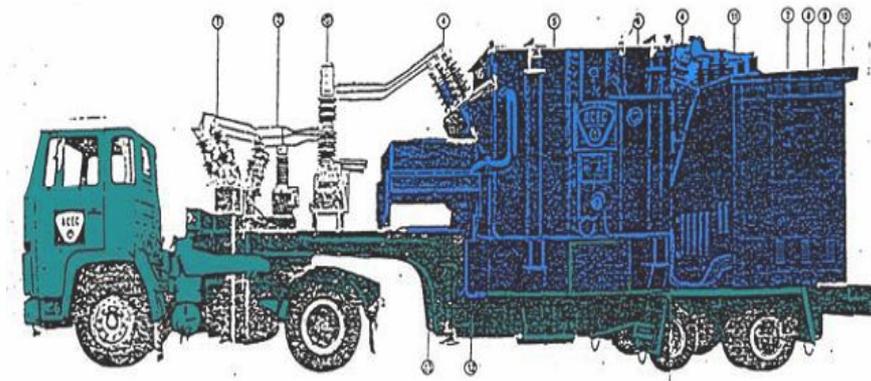


Gambar 2. 6 Konstruksi Gardu Portal

Sumber : Suhadi “Sistem Distribusi Tenaga Listrik”

- Gardu Mobil

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



Gambar 2. 7 Konstruksi Gardu Mobil

Sumber : Daman Susanto “Sistem Distribusi Tenaga Listrik”

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

2.2.2 Penyaluran Setempat

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

2.3 TEGANGAN DISTRIBUSI

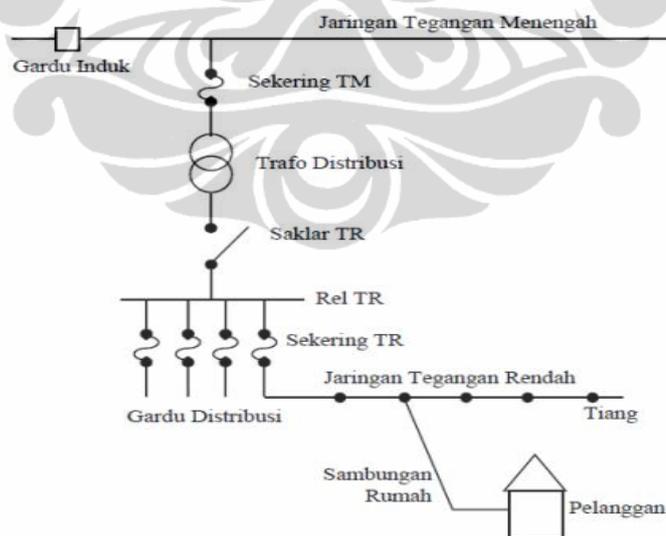
Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain :

2.3.1 Tegangan Menengah (TM)

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang nilai 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk di Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran tenaga listrik dari GI menuju gardu gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

2.3.2 Tegangan Rendah (TR)

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



Gambar 2. 8 Saluran Distribusi Tegangan Rendah

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

2.3.3 Tegangan Pelayanan

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

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

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

2.4 BEBAN LISTRIK

Untuk merencanakan suatu sistem distribusi tenaga listrik maka salah satu hal yang harus diperhatikan merupakan beban listrik. Untuk mengetahui beban listriknya ada beberapa hal yang perlu diperhatikan.

2.4.1 Klasifikasi Pelanggan Listrik Sektor Rumah Tangga

Pelanggan listrik yang termasuk kedalam golongan tarif Bisnis adalah Pelangan yang sebagian atau seluruh tenaga listrik dari PT PLN (Persero) digunakan untuk salah satu atau beberapa kegiatan berbentuk usaha, yaitu usaha jual beli barang, jasa, dan pehotelan, usaha perbankan, usaha perdagangan ekspor/impor Kantor Firma, CV, PT atau badan hukum/perorangan yg bergerak dalam bidang usaha perdagangan, usaha pergudangan dimana sebagian atau seluruh bangunan digunakan untuk tempat penyimpanan badang atau material usaha peorangan atau badan hukum yang sebagian besar atau seluruh kegiatannya merupakan penjualan barang atau jasa dan juga usaha-usaha lainnya yang bertendensi komersial seperti praktek dokter, dan lain sebagainya. Beban sektorr

ini terdiri dari beban penerangan dan alat listrik lainnya. Berikut ini merupakan tingkatan golongan pada tarif dasar listrik (TDL) untuk golongan bisnis sebagai berikut:

- Golongan tarif untuk keperluan bisnis kecil pada tegangan rendah, dengan daya 450 VA s.d. 5.500 VA (B-1/TR).
- Golongan tarif untuk keperluan bisnis menengah pada tegangan rendah, dengan daya 6.600 VA s.d. 200 kVA (B-2/TR).
- Golongan tarif untuk keperluan bisnis besar pada tegangan menengah, dengan daya di atas 200 kVA (B-3/TM).

Tabel 2. 1 Tarif Dasar Listrik Untuk Keperluan Bisnis

Sumber : Peraturan Pemerintah Nomor 10 Tahun 1989

TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN BISNIS					
NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	REGULER	PRA BAYAR (Rp/kWh)
				BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	B-1/TR	450 VA	23.500	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 254 Blok II : di atas 30 kWh : 420	535
2.	B-1/TR	900 VA	26.500	Blok I : 0 s.d. 108 kWh : 420 Blok II : di atas 108 kWh : 465	630
3.	B-1/TR	1.300 VA	*)	795	795
4.	B-1/TR	2.200 VA s.d. 5.500 VA	*)	905	905
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	**)	Blok I : H1 x 900 Blok II : H2 x 1.380	1.100
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	***)	Blok WBP = K x 800 Blok LWBP = 800 kVArh = 905 ****)	-

Catatan :

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

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian Blok I.}$

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM3 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
 H1 : Persentase batas hemat terhadap jam nyala rata-rata nasional x daya tersambung (kVA).
 H2 : Pemakaian listrik (kWh) - H1.

*****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

Besar persentase batas hemat dan jam nyala rata-rata nasional ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan persetujuan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
 LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

2.4.2 Karakteristik Beban Listrik

Faktor faktor yang menentukan karakteristik beban antara lain [2]:

1. Faktor Beban (*Load Factor*)

Perbandingan rata rata beban pada periode tertentu terhadap beban puncak yang diukur dalam periode tertentu.

$$\text{Load factor (faktor beban)} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Beban maksimum}} \dots\dots\dots(2. 1)$$

Beban rata rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam suatu periode tertentu. Beban rata rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovoltampere, ampere dan sebagainya, tetapi keduanya harus memiliki satuan yang sama. Faktor beban hanya mengukur variasi dan tidak menyatakan penunjukan yang tepat dari kurva durasi beban.

2. Faktor Kebutuhan (*Demand Factor*)

Perbandingan antara kebutuhan maksimum dalam sebuah sistem dengan total beban yang terpasang atau terhubung pada sistem tersebut. Jumlah total beban terpasang yang dimaksud adalah jumlah daya tersambung dari seluruh beban dari setiap konsumen.

$$\text{Faktor Kebutuhan} = \frac{\text{Beban puncak}}{\text{Beban terpasang}} \dots\dots\dots(2. 2)$$

Faktor kebutuhan dapat juga dipakai untuk menentukan kapasitas dari peralatan tenaga listrik yang diperlukan untuk melayani beban tersebut. Karena ada pengaruhnya terhadap investasi, maka faktor kebutuhan ini menjadi penting dalam menentukan jadwal pembiayaannya. Faktor kebutuhan biasanya bernilai kurang dari satu . Faktor kebutuhan ini dapat bernilai satu jika keseluruhan beban yang terpasang serentak diberi energy dalam sebagian besar periodenya. Besarnya faktor kebutuhan ini dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

- Besarnya beban terpasang

Sebagai contoh : Rumah tinggal yang mempunyai beban terpasang yang relative besar, pada umumnya memiliki faktor kebutuhan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan rumah tinggal yang mempunyai beban terpasang lebih kecil.

- Sifat Pemakaian

Toko toko, pusat perbelanjaan, kantor kantor dan bangunan industri biasanya memiliki faktor kebutuhan tinggi sedangkan

gudang dan tempat rekreasi memiliki faktor kebutuhan yang rendah.

3. Faktor Penggunaan (*Utility Factor*)

Perbandingan antara kebutuhan maksimum dengan kapasitas normal dari sistem pencatu daya.

$$UF = \frac{\text{Demand maksimum sistem}}{\text{Kapasitas nominal sistem}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Kebutuhan maksimum dapat didefinisikan sebagai kebutuhan terbesar yang dapat terjadi dalam selang waktu tertentu. Kebutuhan maksimum dapat dicari dengan kurva beban atau dengan menghitung beban terpasangnya. Kebutuhan maksimum merupakan perkaitan antara beban terpasang dengan faktor kebutuhan.

2.4.3 Kurva Beban dan Beban Puncak

1. Kurva Beban

Kurva beban menggambarkan variasi pembebanan terhadap suatu gardu yang diukur dengan KW, Ampere atau KVA sebagai fungsi dari waktu. Interval waktu pengukuran biasanya ditentukan berdasarkan pada penggunaan hasil pengukuran, misalnya interval waktu 30 menit atau 60 menit sangat berguna dalam penentuan kapasitas rangkaian. Biasanya beban diukur untuk interval waktu 15 menit, 30 menit, satu jam, satu hari atau satu minggu [2].

Kurva beban menunjukkan permintaan (demand) atau kebutuhan tenaga pada interval waktu yang berlain lain. Dengan bantuan kurva kita dapat menentukan besaran dari beban tersebar dan selanjutnya kapasitas pembangkitan dapat ditentuakn juga. Dengan kurva beban ini juga kita dapat melihat profil pembebanan dari suatu gardu sehingga kita dapat melihat perilaku dari pengguan listrik pada daerah penyaluran gardu tersebut [2].

2. Beban Puncak

Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik, Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa MVA/km^2 atau KVA/m^2 . Beban puncak atau kebutuhan maksimum dapat didefinisikan sebagai beban (kebutuhan) terbesar atau tertinggi yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun dalam setahun. Untuk periode harian, yaitu variasi pembebanan trafo distribusi selama sehari beban puncak harus diartikan beban rata rata selama selang waktu tertentu dimana kemungkinan terjadinya beban tersebut. Sebagai contoh beban puncak harian di Indonesia berkisar pada pukul 17.00 sampai 22.00 dimana pada waktu ini nilai kebutuhan terbesar atau tertinggi terjadi selama selang sehari [3].

2.4.4 Manajemen Beban Listrik

Di tingkat makro, meningkatnya konsumsi listrik dan kecenderungan menurunnya konsumsi listrik selama waktu tertentu pada siang hari dapat diatur disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan mahalnya penambahan kapasitas dan kebutuhan konsumsi ini hanya digunakan sewaktu waktu maka melakukan penambahan kapasitas bukan merupakan langkah yang bijak. Langkah yang dapat ditempuh untuk memecahkan meningkatnya konsumsi listrik dan menurunnya konsumsi listrik selama waktu tertentu pada siang hari adalah dengan melakukan manajemen pembebanan. Teknik yang baik dapat membantu meminimalkan kebutuhan puncak dan memperbaiki penggunaan atau pembebanan kapasitas pembangkit listrik. Beberapa teknik yang efektif untuk manajemen pembebanan antara lain [5] :

1. Menggeser Beban Proses yang Tidak Kritis dan Tidak Kontinyu ke Luar Waktu Beban Puncak.

Penjadwalan ulang beban listrik yang besar dan pengoperasian peralatan pada shift kerja yang ada dapat direncanakan dan diterapkan untuk meminimalkan permintaan maksimum secara bersamaan. Untuk maksud ini, disarankan untuk mempersiapkan diagram alur operasi dan diagram proses. Menganalisa diagram tersebut dengan pendekatan yang

terintegrasi memungkinkan untuk melakukan penjadwalan ulang operasi peralatan dengan berbagai cara untuk memperbaiki faktor beban yang pada gilirannya akan menurunkan permintaan maksimum.

2. Membuang Beban yang Tidak Penting selama Waktu Beban Puncak.

Bila permintaan maksimum cenderung mencapai batas yang sudah ditentukan, pembuangan beberapa beban yang tidak perlu untuk sementara waktu dapat menolong mengurangi beban. Dapat juga dipasang sistem pemantauan langsung yang akan mematikan beban yang tidak perlu bila batas permintaan yang ditentukan telah tercapai.

3. Mengoperasikan Pembangkitan di tempat atau Penggunaan Pembangkit Diesel selama Waktu Beban Puncak

Jika digunakan pembangkit diesel untuk melengkapi daya yang dipasok oleh utilitas listrik, disarankan untuk menggunakan pembangkit diesel untuk waktu beban puncak. Hal ini akan mengurangi permintaan beban menuju tingkat yang dapat dipertimbangkan dan meminimalkan biaya tagihan.

4. Mengoperasikan unit AC selama Luar Waktu Beban Puncak dan menggunakan penampung termis dingin

Memungkinkan untuk mengurangi permintaan maksimum dengan cara membangun tempat penyimpanan produk / bahan, air dingin / air panas, yang dioperasikan selama waktu beban rendah. Operasi pada waktu beban rendah dapat menolong dalam menghemat energi dikarenakan kondisi yang baik seperti suhu luar yang lebih rendah dll.

5. Pemasangan Peralatan Pengkoreksi Faktor Daya

Permintaan maksimum dapat juga dikurangi pada pabrik dengan menggunakan bank kapasitor dan menjaga faktor daya optimal. Sistem tersebut menyala matikan bank kapasitor untuk mencapai faktor daya yang dikehendaki pada suatu sistem sehingga dapat mengoptimalkan permintaan maksimum.

2.5 PENYUSUTAN ENERGI PADA JARINGAN DISTRIBUSI

Susut energi merupakan kerugian yang terjadi sebagai akibat adanya selisih antara energi yang dikirimkan dengan energi yang diterima atau dapat juga dikatakan dari sisi transfer energi sebagai adanya selisih antara energi yang disalurkan ke pelanggan dengan total energi yang dibayarkan pelanggan (selisih antara pembelian energi dengan penjualan energi ke pelanggan). Berdasarkan sifatnya susut energi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

- 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 rugi-rugi besi transformator, kWh meter, kecoran isolasi, dan sebagainya.

- 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 rugi-rugi pada penghantar.

Sedangkan berdasarkan penyebabnya susut energi dapat dibedakan menjadi :

- Susut Teknis

Merupakan susut yang timbul sebagai akibat dari adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat energi yang hilang berupa panas. Rugi – rugi 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.

- Susut Non-Teknis

Merupakan susut yang timbul bukan diakibatkan akibat material dari peralatan. Susut jenis ini timbul akibat adanya kesalahan pembacaan pada alat ukur, kesalahan kalibrasi alat ukur, dan kesalahan akibat adanya

pemakaian listrik secara tidak sah (pencurian) atau kesalahan-kesalahan lain yang bersifat administrative lainnya.

Fenomena penyusutan ini tidak dapat dihindari karena tidak mungkin memiliki efisiensi sebesar 100%. Artinya selalu ada bagian dari daya energi pada saluran jaringan distribusi. Susut teknis pada jaringan dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain Konduktor Fasa, Kabel Distribusi dan Faktor Daya.

2.5.1 Konduktor Fasa

Umumnya bahan yang digunakan pada konduktor fasa berupa aluminium atau tembaga. Karena terbuat dari bahan logam, maka konduktor memiliki nilai Resistansi tertentu berbeda – beda tergantung dari materialnya. Resistansi kabel merupakan bagian penting dari impedansi saluran yang digunakan untuk melakukan penghitungan stugi kegagalan dan studi aliran daya. Material penyusunnya ini nantinya juga berpengaruh terhadap kapasitas arus yang dapat mengalir di konduktor fasa. Material yang dipakai untuk konduktor harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Konduktifitasnya cukup baik.
2. Kekuatan mekanisnya (kekuatan tarik) cukup tinggi.
3. Koefisien muai panjangnya kecil.
4. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) cukup besar.

Variabel umum yang mempengaruhi resistansi adalah suhu dari konduktor tersebut, dapat dikatakan resistansi meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Untuk jangkauan suhu yang lebih luas, resistansi akan meningkat hampir linier terhadap suhu baik pada aluminium maupun tembaga. Efek dari suhu terhadap kenaikan resistansi dapat disederhanakan sebagai persamaan linier sebagai berikut :

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- α = Koefisien temperatur dari resistansi
 = 0.00404 untuk 61.2% aluminium IASC pada suhu 20° C
 = 0.00347 untuk 6201-T81 aluminium alloy pada suhu 20° C

- = 0.00383 untuk tembaga *hard-drawn* pada suhu 20° C
- = 0.0036 untuk aluminium *clad steel* pada suhu 20° C

Yang perlu diperhatikan dalam permasalahan ini adalah ketika jaringan masuk ke dalam gardu distribusi, maka tegangan sistem akan diturunkan dari tegangan primer (20 kV) menjadi tegangan pelayanan (220V) sehingga dengan besar daya yang tetap maka penurunan tegangan akan sejalan dengan kenaikan arus pada sistem. Arus yang besar pada konduktor dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pada konduktor tersebut. Ini dikarenakan daya yang hilang merupakan fungsi kuadrat dari arus yang mengalir sebagaimana yang dinyatakan dalam persamaan berikut [8]:

$$P_{losses} = I^2 R \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- P_{losses} = Daya yang hilang pada rangkaian (Watt)
- I = Arus yang mengalir pada rangkaian (Ampere)
- R = Resistansi saluran (Ohm)

Sedangkan untuk total energi yang hilang akibat susut selama selang waktu tertentu dapat diperhitungkan berdasarkan persamaan berikut :

$$W_{losses} = P_{losses} \cdot t \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- W_{losses} = Energi yang hilang (Joule)
- P_{losses} = Daya yang hilang pada rangkaian (Watt)
- t = Waktu (Jam)

2.5.2 Kabel Distribusi

Pada umumnya kabel yang digunakan untuk distribusi terdiri atas konduktor fasa, kemudian terdapat pelindung yang terbuat dari semikonduktor, kawat netral pelindung, dan pada akhirnya selubung penutup. Sebagian besar kabel distribusi merupakan kabel dengan konduktor tunggal. Terdapat dua jenis kabel, yaitu kabel netral yang tersusun secara konsentrik dan kabel daya. Kabel dengan netral konsentrik umumnya memiliki konduktor yang terbuat dari aluminium, isolasi padat, dan netral yang tersusun secara konsentrik. Netral

konsentrik terbuat dari beberapa kawat tembaga yang dililit mengelilingi (mengitari) isolasi [9].

Netral yang konsentrik merupakan netral yang sesungguhnya. Artinya kawat netral tersebut dapat membawa arus balik pada sistem pentanahan. Kabel distribusi bawah tanah untuk kawasan perumahan umumnya memiliki netral yang konsentrik. Kabel yang dilengkapi netral konsentrik juga digunakan untuk aplikasi saluran utama tiga fasa dan penyaluran daya tiga fasa untuk kebutuhan industri dan kebutuhan komersil [9].



Gambar 2. 9 Gambar Penampang Kabel Distribusi

Sumber : Sumber rovicky.wordpress.com

Penjelasan gambar:

1. Konduktor Penghantar
2. Pelindung Konduktor
3. Isolasi dan Pelindung Isolasi
4. Netral Konsentrik
5. Selubung

Sementara itu kabel daya memiliki konduktor fasa yang terbuat dari tembaga atau aluminium, isolasi padat dan umumnya pita pelindung tipis yang terbuat dari tembaga. Untuk keperluan rangkaian distribusi, kabel daya digunakan untuk aplikasi penyulang saluran utama, penyulang rangkaian dan untuk aplikasi tiga fasa dengan arus besar lainnya. Selain dua jenis kabel utama tersebut juga terdapat kabel untuk keperluan aplikasi dengan tegangan menengah, seperti kabel daya dengan tiga konduktor fasa, kabel yang tahanterhadap api, kabel dengan fleksibilitas tinggi dan kabel bawah laut. Bagian penting dalam isolasi kabel yang perlu mendapat perhatian adalah sebagai berikut :

a. Konstanta Dielektrik

Faktor ini mempengaruhi kapasitas kabel. Konstanta dielektrik merupakan perbandingan dari kapasitansi dengan material isolasi terhadap kapasitansi dengan konfigurasi yang sama di ruang hampa. Kabel dengan kapasitansi lebih besar dapat menarik arus *charging* yang lebih besar.

b. Resistansi Volume

Arus bocor yang melalui isolasi merupakan fungsi dari resistivitas isolasi terhadap arus searah (DC). Resistivitas isolasi menurun seiring dengan kenaikan suhu.

c. Rugi Dielektrik

Seperti pada kapasitor, kabel memiliki rugi dielektrik. Kerugian ini diakibatkan oleh pergerakan dipole dipole di dalam polimer atau sebagai akibat dari pergerakan muatan pembawa di dalam isolasi. Rugi dielektrik memiliki kontribusi terhadap arus resistif bocor pada kabel.

d. Faktor Disipasi

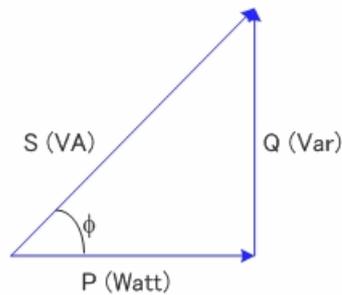
Faktor disipasi merupakan perbandingan dari arus resistif yang muncul oleh kabel terhadap arus kapasitif yang muncul. (I_R/I_X). Karena arus bocor umumnya kecil, maka faktor disipasi dapat digunakan sebagai pendekatan nilai faktor daya, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$pf = I_R / |I| = I_R / \sqrt{I_R^2 + I_X^2} \approx I_R / I_X \dots\dots\dots(2.7)$$

2.5.3 Faktor Daya

Faktor daya / *power faktor* (PF) / *cos phi* adalah rasio besarnya daya aktif yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak yang dihasilkan sumber. Dimana daya bisa diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir. Pada kasus sistem AC dimana tegangan dan arus berbentuk sinusoidal, perkalian antara keduanya akan menghasilkan daya tampak (*apparent power*), satuan *volt-ampere* (VA) yang memiliki dua buah bagian. Bagian pertama adalah daya yang dimanfaatkan oleh konsumen, daya yang dimanfaatkan ini sering disebut sebagai daya aktif (*real power*) memiliki satuan watt (W) yang mengalir dari sisi sumber ke sisi beban bernilai rata-rata tidak nol. Bagian kedua adalah daya yang tidak dimanfaatkan oleh konsumen, namun hanya ada di jaringan, daya ini sering

disebut dengan daya reaktif (*reactive power*) memiliki satuan *volt-ampere-reactive* (VAR) bernilai rata-rata nol.



Gambar 2. 10 Gambar Segitiga Daya

Sumber : konversi.wordpress.com

Gambar di atas menggambarkan hubungan antara daya S, P dan Q. Dimana ada sudut ϕ yang memisahkan daya P dan S. Rasio dari daya P dan S adalah nilai cosines dari sudut ϕ . Cos ϕ ini yang nantinya disebut faktor daya.

$$Faktor\ daya = \cos\phi = \frac{P(W)}{S(VA)} \dots\dots\dots(2. 8)$$

Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1. Faktor daya dapat dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Dengan meningkatkan faktor daya, tentu saja penggunaan listrik makin efisien.

BAB 3

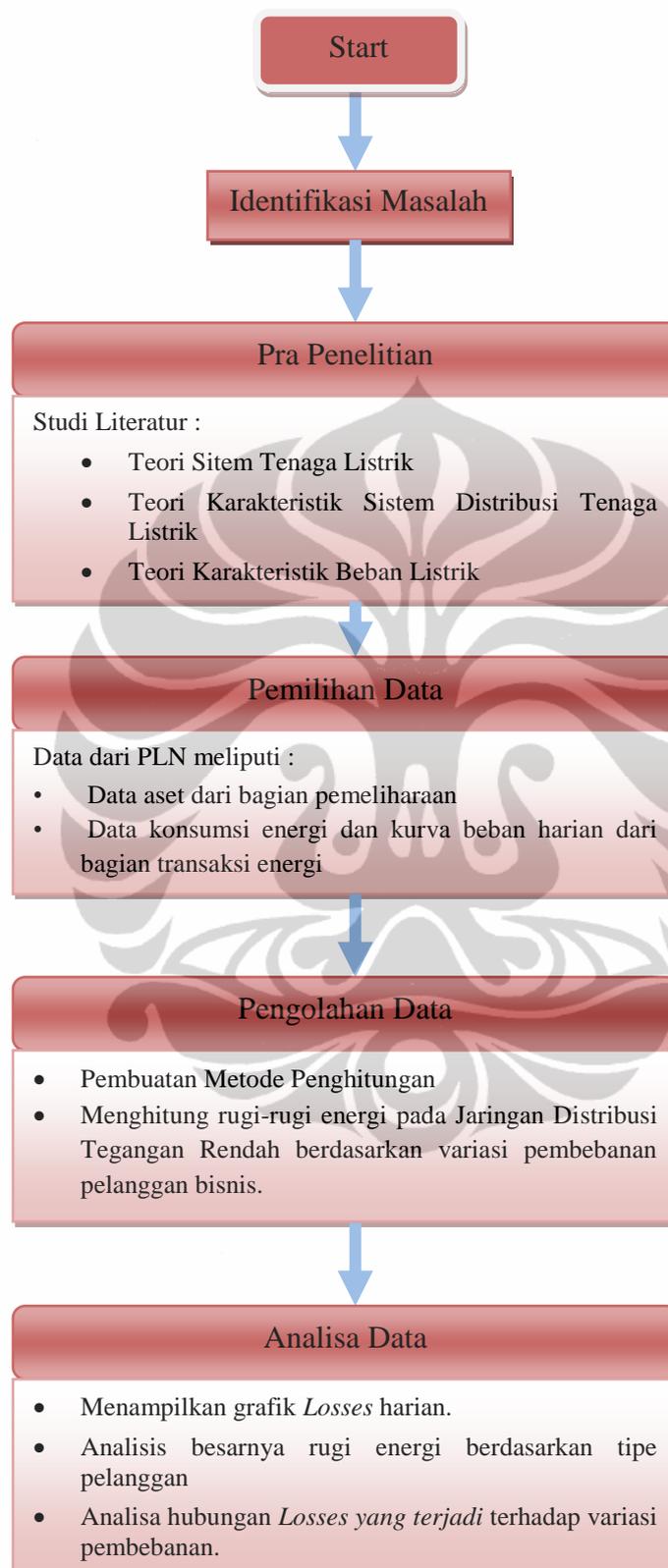
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi energi yang terjadi di Jaringan Distribusi Tegangan Rendah 220 V. Penghitungan rugi-rugi ini akan dibedakan berdasarkan pada klasifikasi pelanggan bisnis berdasarkan langganan daya listrik, yaitu B1 untuk langganan daya 450 VA – 5.500 VA, B2 untuk langganan daya 6.600 VA – 200 kVA, dan B3 untuk langganan daya di atas 200 kVA serta kombinasi di antara mereka. Dengan membuat variasi yang berbeda nantinya akan didapatkan besar rugi-rugi energi yang berbeda pula sehingga penulis akan dapat mencari hubungan antara variasi pembebanan dengan rugi-rugi energi yang terjadi.

Besarnya rugi-rugi yang dianalisa merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh impedansi saluran penghantar Jaringan Distribusi (Susut Teknis). Dimana rugi-rugi ini terjadi di sepanjang saluran distribusi antara gardu Distribusi (Output Trafo Distribusi) sampai ke titik beban terjauh dari sumber dengan tidak melihat rugi-rugi yang terjadi pada saluran rumah. Penelitian ini dilakukan di salah satu area pelayanan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yakni PLN area pelayanan Cempaka Putih.

Pada penelitian ini telah dibuat kerangka metodologi yang digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan dan penulisan laporan ini. Sehingga proses identifikasi masalah, proses pengumpulan data dari PLN, pengolahan data dan analisis akan lebih mudah.

Metodologi penelitian menggambarkan proses serta tahapan penelitian dimulai dari awal hingga akhir. Tahapan yang disusun ini harus dilakukan secara berurutan serta disusun secara sistematis dengan tujuan untuk mendapatkan keterhubungan antara data dan informasi yang diperoleh dengan hasil yang ingin didapatkan yaitu rugi-rugi energi yang terjadi pada Sistem Distribusi Tegangan Rendah serta pengaruh variasi pembebanan terhadap rugi-rugi yang terjadi. Secara garis besar diagram alur penelitian dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 3. 1 Alur (*Flow Chart*) Metodologi Penelitian

3.1 Tahapan Persiapan

Pada tahapan ini dilakukan identifikasi permasalahan yang terkait studi susut energi distribusi jaringan tegangan rendah, meliputi latar belakang masalah, faktor-faktor penyebab dan segala potensi yang dapat memungkinkan terjadinya susut energi pada jaringan distribusi. Pada tahap ini pula juga disiapkan keperluan untuk tahap selanjutnya seperti materi studi literatur serta keperluan administrasi untuk permintaan data ke PLN area pelayanan Cempaka Putih.

3.2 Tahapan Pra Penelitian.

Pada tahapan ini studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi yang terkait penelitian. Studi literatur yang dilakukan meliputi membaca buku pegangan (*text book*), jurnal ilmiah, laporan kerja praktek, laporan tugas akhir serta artikel dan semua informasi terkait. Studi literatur dilakukan selama penelitian berlangsung mulai dari tahap pra penelitian hingga akhir penelitian sehingga diperoleh kesimpulan dari tujuan penelitian. Pada tahapan studi literatur ini dipelajari berbagai teori-teori yang berhubungan dengan penelitian, yaitu :

- Teori Sistem Tenaga Listrik
- Teori Karakteristik Sistem Distribusi Tenaga Listrik
- Teori Karakteristik Beban Listrik
- Teori Susut Energi

Selain studi literatur, pada tahap ini 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 antara lain,

a. Data Aset

Data aset diperlukan untuk mengetahui gambaran dari wilayah yang akan dijadikan objek studi Susut Energi Jaringan Distribusi Tegangan Rendah yang dimana merupakan area pelayanan PLN Cempaka Putih. Data aset meliputi *Single Line Diagram* (SLD) area pelayanan cempaka putih, jumlah gardu distribusi, kapasitas trafo gardu distribusi, panjang saluran distribusi, jarak antar titik beban serta jenis penghantar. Data aset panjang saluran, jarak antar titik beban dan jenis penghantar digunakan untuk

mengetahui salah satu parameter untuk perhitungan yaitu impedansi saluran. Data aset di dapat dari bagian pemeliharaan PLN area Cempaka Putih.

b. Data Konsumsi Energi

Data konsumsi energi listrik diperlukan untuk mengetahui besarnya pembebanan pada masing-masing trafo gardu distribusi. Data konsumsi energi listrik didapat dari bagian transaksi energi

c. Data Pelanggan

Data pelanggan yang dimaksud merupakan data konsumsi energi listrik harian pelanggan sehingga dapat dilihat perilaku konsumsi energi listrik dari pelanggan dan profil pembebanannya. Data yang diambil merupakan data konsumsi energi listrik dari pelanggan golongan tarif B1, B2 dan B3. Masing masing profil pembebanan dari pelanggan tersebut akan diolah dan nantinya akan dikombinasikan satu sama lain sehingga bisa didapatkan besar susut energi listrik pada saluran distribusi tegangan rendah.

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, penerangan 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.

3.3 Tahapan Pemilihan Data

Pada tahap ini dilakukan proses seleksi untuk memilih objek yang dapat mewakili kebutuhan dari penelitian. Objek yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Objek yang dibutuhkan dalam penelitian merupakan suatu jaringan distribusi tegangan rendah dimana area yang disuplai oleh gardu trafo

distribusinya dominan pelanggan dengan golongan tarif B1, B2 dan B3 atau kombinasi dari ketiga golongan tarif pelanggan tersebut.

a. Kapasitas Sistem.

Studi susut energi di jaringan distribusi tegangan rendah dilakukan dengan menggunakan data aset yang didapat dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) area pelayanan Cempaka Putih. Sesuai dengan data yang didapat bahwa jumlah gardu distribusi pada Perusahaan Listrik Negara area pelayanan Cempaka Putih sebanyak 200 buah dan kapasitas masing-masing trafo distribusi diasumsikan 400 kVA.

Susut energi yang dianalisa disini merupakan susut energi dari total kapasitas sistem (200 x 400 kVA) yang terpasang untuk menyuplai energi listrik ke pelanggan.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Alur Penyaluran Energi Listrik

b. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Studi susut energi di jaringan distribusi tegangan rendah dilakukan dengan mengadopsi salah satu jaringan distribusi gardu distribusi pada area pelayanan PLN Cempaka Putih. Gardu yang digunakan sebagai sampel jaringan adalah gardu distribusi S.35. Gardu tersebut memiliki jarak 578 meter dari gardu hingga titik beban terjauh dan memiliki jumlah titik beban sebanyak 31 buah. Jaringan distribusi ini nantinya yang digunakan sebagai jaringan sampel dalam perhitungan dan penganalisaan susut energi yang terjadi pada kapasitas sistem terpasang. Berikut merupakan tabel komponen Jaringan Distribusi Tegangan Rendah dari Gardu S. 35 :

Tabel 3. 1 Tabel Jaringan Distribusi Gardu S. 35

Titik Beban	Jarak (m)
1	22
2	22
3	15
4	13
5	13
6	13
7	13
8	18
9	14
10	15
11	23
12	24
13	22
14	22
15	21
16	21
17	20
18	19
19	17
20	21
21	25
22	23
23	17
24	22
25	25
26	17
27	17
28	15
29	16
30	14
31	19
Total Panjang	578

b. Kabel Distribusi

Kabel distribusi pada data aset adalah XLPE 4 x 95 mm². 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. Setiap

penghantar memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung material penghantar tersebut. Material ini menentukan besar resistansi dari kabel dan kemampuan dari kabel tersebut dalam menghantarkan arus.

Faktor eksternal yang mempengaruhi dari besarnya resistansi kabel penghantar adalah faktor suhu. Faktor suhu ini akan membuat besar nominal resistansi kabel distribusi akan bervariasi. Berikut persamaan untuk menentukan besarnya nilai resistansi berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000,

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

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

Dimana : R_t = resistansi kabel pada suhu t derajat Celcius (ohm/km)

R = resistansi kabel pada suhu 20derajat Celcius (ohm/km)

t = suhu penghantar dalam derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$)

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

Tabel 3. 2 Resistansi Kabel Distribusi

No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Resistansi kabel (Ω /km)
1	15	0.187
2	20	0.191
3	25	0.195
4	30	0.199
5	35	0.202

Ketika jaringan masuk ke dalam gardu distribusi, maka tegangan sistem akan diturunkan dari tegangan primer (20 kV) menjadi tegangan pelayanan (220V) sehingga dengan besar daya yang tetap maka penurunan tegangan akan sejalan dengan kenaikan arus pada sistem. Arus yang besar pada konduktor dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pada konduktor tersebut. Selain itu besarnya nilai resistansi dari saluran juga akan mempengaruhi besarnya rugi-rugi energi yang terjadi pada jaringan. Semakin besar resistansi saluran maka semakin

besar pula susut energi yang terjadi di saluran. Ini dikarenakan daya yang hilang merupakan fungsi kuadrat dari arus yang mengalir sebagaimana yang dinyatakan pada rumus (2.5) dan rumus (2.6)

c. Jumlah Pelanggan dan Kapasitas Terpasang

Berdasarkan data aset PLN area pelayanan Cempaka Putih, di Indonesia untuk pelanggan yang menggunakan energi listrik untuk keperluan bisnis dikelompokkan berdasarkan besar langganan daya listriknya. Berikut pengkelompokannya beserta jumlah pelanggan dan kapasitas terpasang dari jenis pelanggan tersebut,

Tabel 3. 3 Klasifikasi Pelanggan Sektro Bisnis

Tipe Pelanggan	Golongan Tarif	Daya Listrik	Jumlah Pelanggan	Kapasitas Terpasang (VA)
Bisnis	B1	450 VA s.d. 2200 VA	24200	13010100
	B2	2200 VA s.d. 200 kVA	3327	79630900
	B3	Di atas 200 kVA	91	86142000

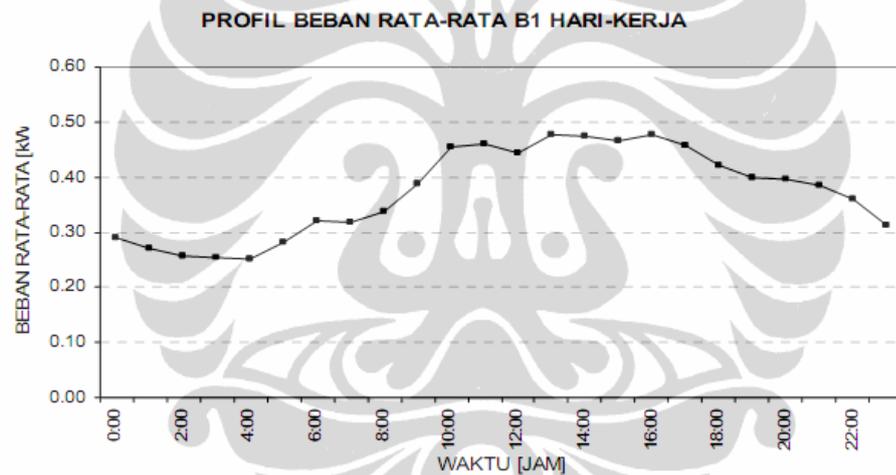
d. Profil Beban Pelanggan Bisnis

Pelanggan golongan tarif B1 biasanya berlangganan untuk keperluan bisnis kecil pada tegangan rendah, sedangkan golongan tarif B2 untuk keperluan bisnis menengah pada tegangan rendah dan golongan tarif B3 untuk keperluan bisnis skala besar pada tegangan menengah. Masing-masing kelompok pelanggan ini memiliki karakteristik pemakaian listrik yang berbeda-beda satu sama lain. Perilaku pemakaian listrik ini dinamakan sebagai profil beban (*Load Profile*). Profil pembebanan ini merupakan kurva beban yang menunjukkan besarnya pemakaian listrik pada periode tertentu, dapat dalam bentuk harian, bulanan, tahunan atau bahkan setiap jam.

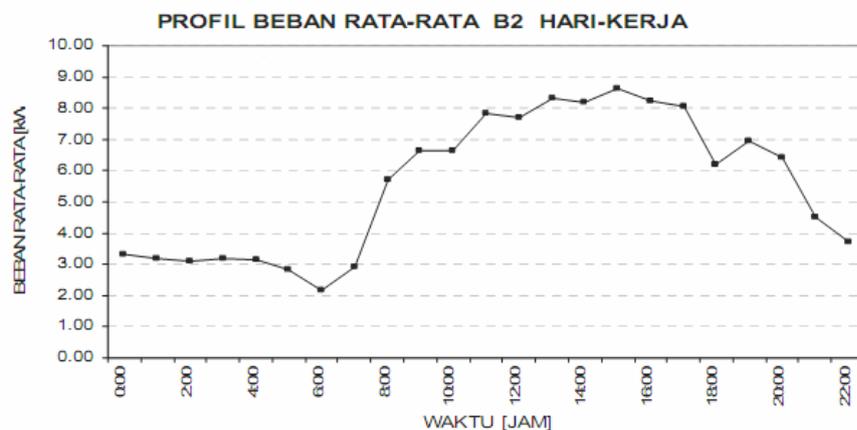
Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa profil beban di tiap kelompok pelanggan sektor bisnis ini berbeda. Perbedaan ini dapat berupa perilaku

pemakaian listrik dari setiap kelompok berbeda –beda dan waktu beban puncak yang berbeda-beda.

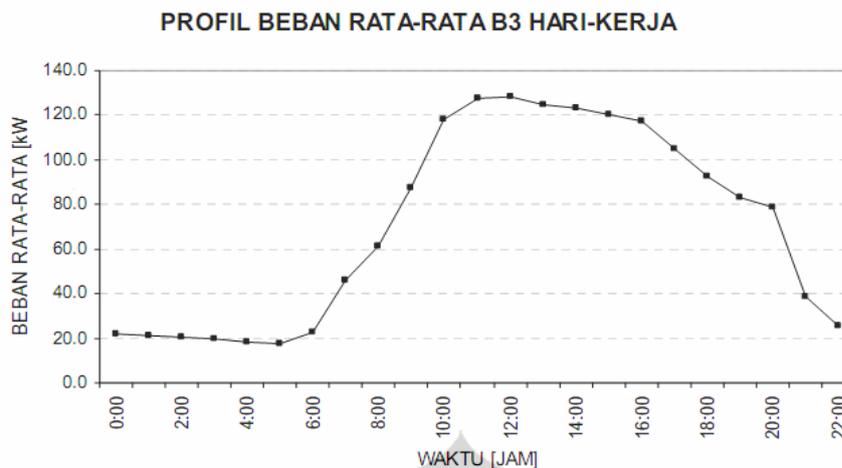
Pada penelitian ini akan dianalisa variasi profil beban (*Load Profile*). Tujuan dari penganalisaan profil beban ini agar didapatkan karakteristik pembeban pada setiap kelompok pelanggan yang nantinya akan digunakan untuk menghitung besarnya susut energi yang terjadi pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah. Pada akhirnya diharapkan setelah penghitungan susut energi ini nantinya akan didapat hubungan antara variasi profil pembebanan terhadap susut energi yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan rendah. Berikut dilampirkan profil beban (*Load Profile*) masing-masing kelompok pelanggan menurut laporan akhir beban PLN tahun 2007 untuk daerah Jakarta Madura Bali,



Kurva 3. 1 Profil Beban Pelanggan Golongan Tarif B1



Kurva 3. 2 Profil Beban Pelanggan Golongan Tarif B2



Kurva 3. 3 Profil Beban Pelanggan Golongan Tarif B3

3.4 Tahapan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari literatur, data aset dan data dari transaksi energi pada tahap ini di gunakan untuk menghitung susut energi yang terjadi pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah. Dari data-data dan informasi tersebut maka dibuatlah beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan susut energi. Parameter yang digunakan antara lain:

- I maksimum Jaringan.
- Persen Pembebanan Trafo Distribusi dari profil beban (*Load Profile*)
- Impedansi Saluran
- Standard Variasi

3.4.1 Parameter Penghitungan Susut Energi

- a. I_{\max} Jaringan.

Kapasitas sistem yang digunakan sebesar 200 x 400 kVA. Dari kapasitas sistem ini dapat dihitung nilai I_{\max} yang dapat disuplai oleh trafo. Persamaan yang digunakan adalah

$$I_{\max} = \frac{\text{Kapasitas Sistem}}{3 \times V \text{ sistem}} \dots\dots\dots(3.3)$$

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

b. Persen Pembebanan Trafo

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

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{\text{Jumlah Pelanggan} \times \text{Nilai pada Kurva Beban (Watt)}}{\text{Kapasitas Terpasang (VA)} \times \text{Pf}} \dots\dots\dots(3.4)$$

c. Faktor Kepadatan Beban (I_{gw})

Faktor kepadatan beban merepresentasikan besarnya arus di setiap seksi. Arus di setiap seksi nilainya sama besar karena arus di setiap titik beban nilainya sama (beban terdistribusi merata). Berikut persamaan yang digunakan dalam menghitung faktor kepadatan beban,

$$I_{gw} = \frac{I_{pp} \text{ (Ampere)}}{n} \dots\dots\dots(3.5)$$

d. Impedansi Saluran

Impedansi saluran didapatkan dengan mengkalikan panjang saluran dengan impedansi kabel distribusi. Sedangkan untuk impedansi jaringan antar titik beban dapat ditentukan dengan mengkalikan jarak antar titik beban dengan impedansi kabel distribusi.

$$R_s (\text{Ohm}) = R_t (\text{Ohm/Km}) \times \text{Panjang saluran (Km)} \dots\dots(3.6)$$

3.4.2 Formula Penghitungan Susut

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

$$S_{(\text{kWh})\text{JTR3f}} = 3 \times \sum_1^n n^2 \times I_{\text{gwj}}^2 \times R_{\text{gwj}} \times L_{\text{sF}} \times t \times F_{\text{kor}} \times 10^{-3} \dots(3.7)$$

Dimana :

n = Jumlah Titik Beban.

R_{gw} = Resistansi Saluran. (Ω)

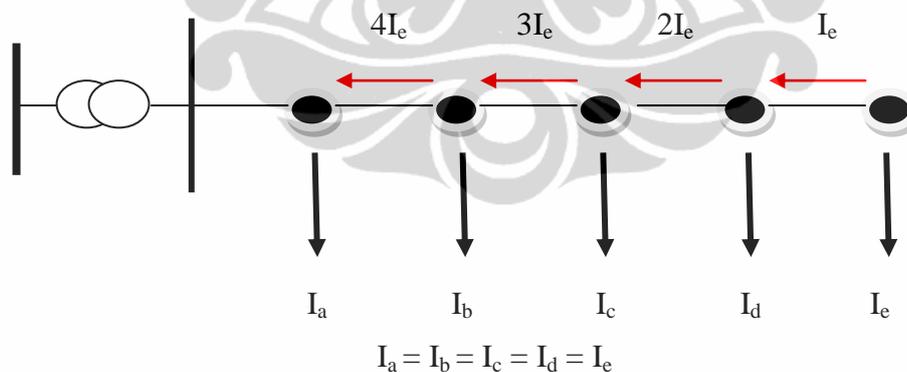
I_{pp} = Arus pembebanan (Ampere)

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

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

LF = Faktor Beban (*Load Factor*)

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



Gambar 3.3 Gambar Ilustrasi Jaringan

Gambar di atas mengilustrasikan persebaran arus pada setiap titik beban. Dalam perhitungan ini, beban diasumsikan merata pada setiap titik bebannya. Sehingga arus beban pada setiap titik beban (tiang) nilainya sama besar ($I_a = I_b = I_c = I_d = I_e$). Sedangkan arus seksi (arus antar titik beban) besarnya merupakan kelipatan dari faktor kepadatan beban (I_{gw}).

3.5 Tahap Analisa Data

Berdasarkan formulasi perhitungan serta menggunakan beberapa parameter pendukung seperti kapasitas trafo sistem, arus maksimum trafo, profil beban pelanggan, panjang saluran serta impedansi saluran, maka didapatkan besaran nominal susut energi dan efisiensi saluran. Untuk melihat komposisi beban terbaik dilihat dari nilai susut energi dan efisiensi saluran dilakukan skenario untuk mengkombinasikan beban pelanggan bisnis sebagai komposisi beban yang disuplai sistem. Tujuan dilakukan kombinasi beban ini adalah untuk menganalisa susut energi dan efisiensi saluran yang terjadi pada setiap komposisi dan menganalisa hubungan antara variasi profil beban terhadap susut energi dan efisiensi saluran pada kapasitas sistem terpasang yang tetap. Kombinasi ini dilakukan dengan menjumlahkan beban persen pembebanan trafo antar jenis pelanggan yang di kombinasikan sehingga didapatkan persen pembebanan baru yang merepresntasikan kombinasi bebena tersebut. Berikut kondisi yang dijadikan sebagai komposisi beban,

Tabel 3. 4 Variasi Komposisi Pembebanan Pelanggan Bisnis

NO	B1	B2	B3
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	34 %	33 %	33 %

Tabel di atas menjelaskan kondisi pengkombinasian beban pelanggan bisnis. Kondisi ini secara garis besar merupakan pengkombinasian beban pelanggan bisnis satu jenis, beban pelanggan bisnis 2 jenis dan beban pelanggan

bisnis 3 jenis dimana terdiri dari salah satu jenis beban yang dominan atau kesemuanya memiliki komposisi sama besar.

Kondisi pertama diasumsikan gardu distribusi S.35 hanya menyuplai salah satu kelompok golongan tarif atau pada area penyaluran gardu distribusi S.35 hanya ada pelanggan golongan tarif B1 semua, B2 semua atau B3 semua (baris nomor 1,2 dan 3). Kondisi kedua gardu distribusi diasumsikan menyuplai dua jenis kelompok pelanggan yaitu golongan tarif B1 dan B2. Dimana variasinya terdiri atas kelompok golongan tarif B1 yang lebih banyak, kelompok golongan tarif B2 lebih banyak dan B1 B2 seimbang (Baris nomor 4,5 dan 6). Kondisi ketiga gardu distribusi diasumsikan menyuplai dua jenis kelompok pelanggan yaitu golongan tarif B1 dan B3. Dimana variasinya terdiri atas kelompok golongan tarif B1 yang lebih banyak, kelompok golongan tarif B3 lebih banyak dan B1 B3 seimbang (Baris nomor 7,8 dan 9). Untuk kondisi keempat serupa dengan dua kondisi semua dimana variasinya kelompok golongan tarif B2 yang lebih banyak kelompok golongan tarif B3 lebih banyak dan B2 B3 seimbang (Baris nomor 10,11 dan 12). Sedangkan untuk kondisi terakhir gardu distribusi S.35 menyuplai ketiga jenis kelompok pelanggan. Dimana variasi kondisinya berupa kelompok B1 lebih banyak dan B2 B3 sama besar, kelompok B2 besar dan B1 B3 sama besar, kelompok B3 lebih besar dan B1 B2 sama besar serta kondisi seimbang dimana kelompok B1, B2 dan B3 sama besar (Baris nomor 13,14,15 dan 16). Sehingga secara garis besar dalam melakukan penghitungan susut energi pada jaringan distribusi tegangan rendah digunakan pengkelompokan variasi pembebanan yaitu,

- a. Susut energi jaringan distribusi beban seragam.

Kondisi 1 yaitu Baris 1,2 dan 3

- b. Susut energi jaringan distribusi beban tidak seragam.

Kondisi 2,3,4 dan 5 yaitu Baris 4 hingga 16

Variasi pembebanan ini digunakan untuk menganalisa susut energi yang terjadi serta mencari hubungannya dengan variasi beban tersebut sehingga didapatkan perhitungan dan analisa yang paling mewakili kondisi sebenarnya.

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Bab ini akan menggambarkan pengolahan data yang dilengkapi dengan kurva yang memudahkan pembacaan hasil pengolahan data dan menganalisa hasil pengolahan data. Dalam melakukan penghitungan dan analisa dari data digunakan skenario kondisi yang telah dijelaskan di tabel 3.5. Berikut ditampilkan contoh pengolahan data susut energi dan efisiensi saluran serta parameter parameternya. Contoh yang akan diambil dalam penghitungan susut energi jaringan distribusi tegangan rendah adalah profil pelanggan golongan tarif B1 pada jam 10.00.

a. Arus Maksimum Jaringan (I_{max})

Kapasitas trafo yang digunakan sebesar 200 x 400 kVA. Dari kapasitas sistem ini maka akan dapat dihitung Arus Maksimum yang dapat disuplai oleh trafo (I_{max}) dengan menggunakan persamaan (3.5). Berikut ditampilkan nilai I_{max} pelanggan golongan tarif B1 pada jam 10 dengan menggunakan persamaan (3.3),

$$I_{max} = \frac{200 \times 400.000 \text{ VA}}{3 \times 220 \text{ V}}$$

$$I_{max} = 121212 \text{ Ampere}$$

b. % Pembebanan

Sesuai data aset yang didapatkan dari PLN area pelayanan Cempaka Putih, bayak pelanggan B1 sebanyak 8246 dengan kapasitas sistem terpasang sebesar 13010100 VA. Jika menurut laporan akhir tahun PLN untuk daerah Jawa Madura Bali pada jam 10.00 rata-rata pemakaian energi listrik pelanggan B1 sebesar 460 Watt. Maka dengan menggunakan persamaan (3.6) besar persen pembebanannya adalah

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{8246 \times 460 \text{ Watt}}{13010100 \text{ VA} \times 0.85}$$

$$\% \text{ pembebanan} = 24.8 \%$$

c. Arus Pembebanan (I_{pp})

Dengan menggunakan persamaan (3.7) nilai arus pembebanan (I_{pp}) sebesar,

$$\begin{aligned} I_{pp} &= 121212 \text{ Ampere} \times 24.8 \% \\ &= \text{Ampere} \end{aligned}$$

c. Faktor Kepadatan Beban (I_{gw})

Dengan menggunakan persamaan (3.8) maka untuk nilai faktor kepadatan beban pelanggan B1 pada jam 10.00 sebesar,

$$\begin{aligned} I_{gw} &= \frac{30036 \text{ Ampere}}{31} \\ I_{gw} &= 968.9 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

e. Resistansi Saluran

Pengahantar yang digunakan merupakan kabel dengan ukuran 3x95 dengan inti tembaga, dimana menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 untuk kabel dengan spesifikasi tersebut memiliki resistansi sebesar 0.195 Ohm/Km. Jika panjang saluran sebesar 578 m maka dengan menggunakan persamaan (3.6) besar resistansi saluran adalah,

$$\begin{aligned} R_s &= 0.195 \Omega/\text{Km} \times 0.578 \text{ Km} \\ &= 0.11271 \Omega \end{aligned}$$

f. Susut Energi

Untuk menghitung susut energi yang terjadi pada saluran diperlukan menghitung besar susut energi yang terjadi pada setiap seksi beban atau susut yang terjadi antar titik beban. Dimana seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa formulasi yang digunakan mengasumsikan bahwa penyebaran beban atau pelanggan pada setiap titik beban merata. Persamaan yang digunakan untuk menghitung susut energi jaringan tegangan rendah adalah persamaan (3.7). Berikut ditampilkan perhitungansusut energi untuk pelanggan golongan tarif B1 pada jam 10.00,

$$Susut\ Energi = 3 \times \sum_1^{31} 31^2 \times 968.8\ A^2 \times 0.0036 \times 1$$

$$Susut\ Energi = 317427.44\ Wh$$

g. Efisiensi Jaringan

Efisiensi jaringan menggambarkan perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan pada saluran. Pertama yang harus dilakukan adalah menghitung daya masukan pada saluran (P_{in}) dengan menggunakan persamaan,

$$P_{in} = 3 \times V_{fasa} \times I_{pembebanan} \times pf \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

$$P_{in} = 3 \times 220 \times 30036 \times 0.85 \times 1$$

$$P_{in} = 16850195$$

Kemudian dicari besar daya keluaran saluran dengan mengurangi besar daya masukan saluran dengan susut energi yang terjadi, sehingga didapatkan P_{out} ,

$$P_{out} = P_{in} - P_{losses} \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

$$P_{out} = 16850195 - 317427.44$$

$$P_{out} = 16532767.68$$

Setelah didapatkan dua parameter tersebut, baru dapat dihitung efisiensi saluran dengan menggunakan persamaan,

$$\varepsilon = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

$$\varepsilon = \frac{1532767.68}{3116850195.12} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 98.12\ %$$

Setelah didapatkan semua parameter melalui formulasi yang dijabarkan diatas, maka susut energi dalam kurun waktu sehari akan ditampilkan dengan menggunakan kurva susut energi sehingga nantinya dapat dibandingkan dan dianalisa pengaruhnya dengan kurva beban.

h. Standard Deviasi

Standard deviasi menggambarkan total penyimpangan suatu data dari rata-rata. Standar deviasi yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk menghitung standard deviasi pada nilai P_{out} . Berikut diberikan contoh perhitungan standar deviasi pada P_{out} beban B1 seragam.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \dots(4.4)$$

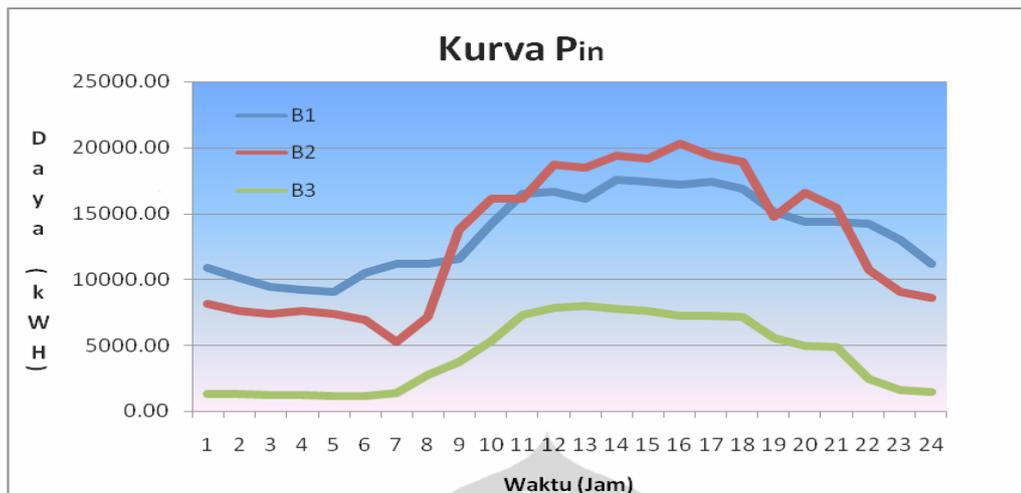
Di mana :

- σ : standar deviasi
- x_i : nilai sebaran data
- \bar{X} : rata-rata dari populasi data
- N : total populasi data

Sehingga didapatkan nilai standard deviasi untuk beban B1 seragam sebesar 58 kW

4.1 PERHITUNGAN SUSUT ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH BEBAN SERAGAM

Dalam penghitungan ini dibuat skenario dimana beban pada jaringan distribusi tegangan rendah dibuat seragam. Yang dimaksud seragam disini adalah trafo distribusi menyuplai energi listrik dimana konsumen-nya hanya dari satu jenis golongan tarif pelanggan bisnis, baik B1 B2 atau B3 seluruhnya. Berikut ditampilkan hasil perhitungan daya masukan sistem (P_{in}) pada beban B1 , B2 dan B3 seragam melalui grafik dengan menggunakan persamaan (4.1).



Kurva 4. 1 Kurva Pin Beban Seragam

Terlihat dari tabel bahwa dan kurva Pin bahwa waktu beban puncak pemakaian untuk pelanggan golongan B1 berada di rentang jam 10.00 sampai jam 17.00, untuk B2 berada di tentang jam 09.00 sampai jam 17.00, sedangkan untuk B3 berada pada rentang jam 10.00 sampai jam 17.00.

Beban puncak ini menggambarkan aktivitas dan pola pemakaian energi listrik dari pelanggan sektor bisnis itu sendiri. Untuk golongan B1 sebelum dan sesudah waktu beban puncak tidak terlihat signifikan kenaikan atau penurunan, ini dimungkinkan karena langganan daya listrik B1 kecil sehingga selisih waktu pemakaian energi saat waktu puncak dan luar waktu puncak tidak terlalu besar. Sedangkan untuk *magnitude* kurva beban B1 bernilai besar atau tinggi di karenakan jumlah pelanggan golongan tarif B1 di area pelayanan Cempaka Putih paling banyak jumlahnya bila dibandingkan dengan jumlah pelanggan golongan tarif yang lain.

Untuk golongan B2 waktu puncak dimulai lebih awal dimungkinkan karena pelanggan golongan B2 yang biasanya mini market, kios, warnet, restoran cepat saji, ruko dll memulai aktivitas usahanya lebih awal karena jenis usaha yang mereka lakukan harus lebih dulu buka dari jam mulai untuk mengincar orang yang hendak berangkat kantor untuk berbelanja atau menggunakan jasa mereka.

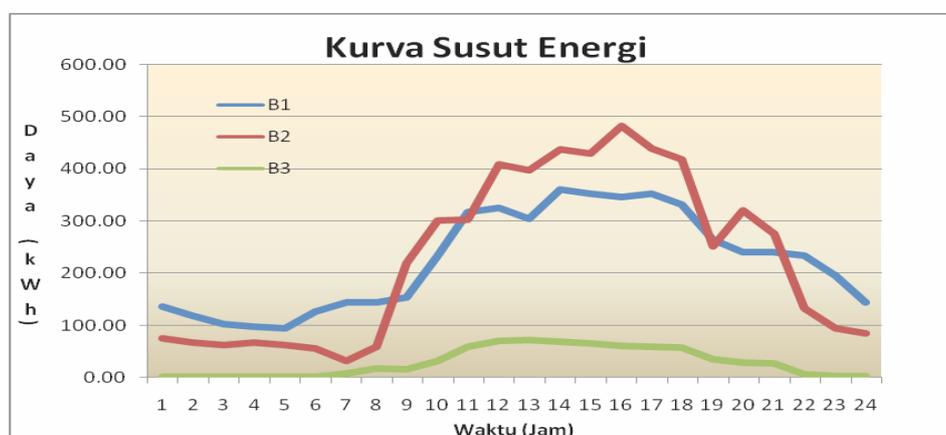
Sedangkan untuk pelanggan golongan tarif B3 terlihat bahwa kenaikan drastis tingkat pemakaian energi listrik dari sebelum jam 10.00, ini dimungkinkan karena pelanggan B3 yang biasanya perkantoran, pusat perbelanjaan dll baru membuka usahanya di sekitar jam 10.00 dan sebelum jam 10.00 Sehingga suatu bentuk kewajaran ketika lonjakan drastis terlihat mengingat pelanggan B3 berlangganan daya listrik sangat besar yaitu lebih dari 200 kVA. Sedangkan untuk *magnitude* dari kurva beban pelanggan B3 bernilai kecil atau rendah dikarenakan jumlah pelanggan golongan B3 paling sedikit dibandingkan jenis beban yang lainnya.

Secara garis besar ketika telah melewati rentang pemakaian tersebut (setelah jam 21.00) konsumsi energi listrik dari pelanggan B1, B2 dan B3 hanya digunakan untuk penerangan, peralatan keamanan dan peralatan penunjang usaha yang tidak boleh padam (kecuali bagi jenis pelanggan sektor bisnis yang membuka usahanya lebih malam dari itu atau buka 24 jam). Suatu bentuk kewajaran jika pada pukul 06.00 kurva sedikit turun karena biasanya pada kisaran waktu tersebut pemakaian untuk penerangan jalan sudah tidak digunakan lagi mengingat langit sudah mulai terang.

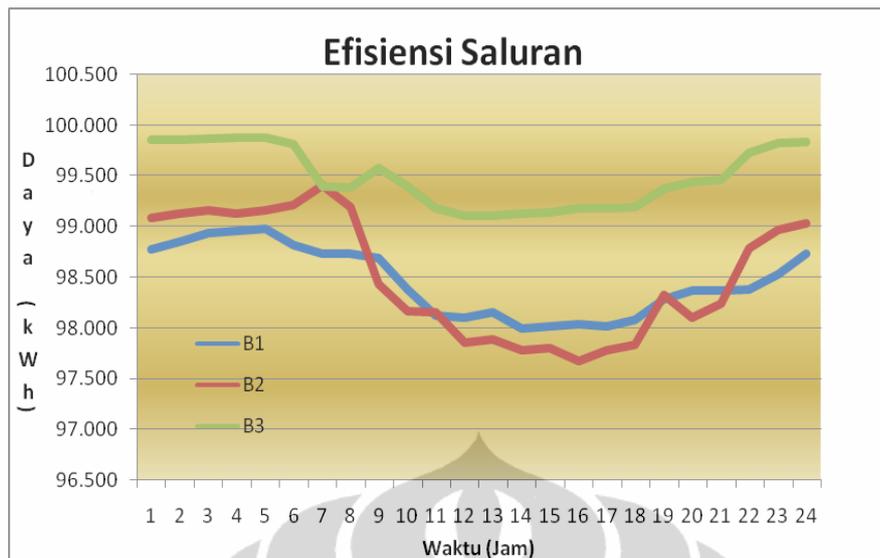
Untuk menghitung besarnya susut energi pada kombinasi beban seragam satu jenis digunakan persamaan (3.7). Sedangkan untuk melakukan penghitungan nilai P_{out} jaringan dan efisiensi jaringan digunakan persamaan (4.2) dan persamaan (4.3). Berikut dijabarkan hasil perhitungan ketiga parameter tersebut,

Tabel 4. 1 Pengolahan Data Susut Energi Beban Seragam

Jam	Susut Energi (kWh)			% Susut			Efisiensi (%)		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
00.00	135.01	75.30	2.03	1.229	0.917	0.151	98.771	99.083	99.849
01.00	117.61	67.17	1.87	1.147	0.869	0.146	98.853	99.131	99.854
02.00	101.41	62.54	1.67	1.065	0.835	0.137	98.935	99.165	99.863
03.00	97.55	67.17	1.58	1.044	0.869	0.130	98.956	99.131	99.870
04.00	93.76	62.54	1.49	1.024	0.835	0.125	98.976	99.165	99.875
05.00	126.16	54.83	2.21	1.188	0.783	0.191	98.812	99.217	99.809
06.00	144.16	31.53	8.44	1.270	0.593	0.601	98.730	99.407	99.399
07.00	144.16	58.62	16.79	1.270	0.809	0.611	98.730	99.191	99.389
08.00	153.61	219.33	16.04	1.310	1.566	0.424	98.690	98.434	99.576
09.00	234.06	300.19	32.26	1.618	1.828	0.600	98.382	98.172	99.400
10.00	317.43	302.69	59.95	1.884	1.843	0.818	98.116	98.157	99.182
11.00	324.37	408.11	70.75	1.904	2.139	0.891	98.096	97.861	99.109
12.00	303.78	396.57	71.97	1.843	2.106	0.893	98.157	97.894	99.107
13.00	360.18	437.67	68.35	2.007	2.210	0.875	97.993	97.790	99.125
14.00	352.87	428.70	66.00	1.986	2.192	0.858	98.014	97.808	99.142
15.00	345.63	482.06	60.29	1.966	2.321	0.823	98.034	97.679	99.177
16.00	352.87	438.28	59.84	1.986	2.213	0.818	98.014	97.787	99.182
17.00	331.38	417.17	58.07	1.925	2.160	0.806	98.075	97.840	99.194
18.00	264.62	250.61	35.26	1.720	1.674	0.628	98.280	98.326	99.372
19.00	240.02	319.42	28.00	1.638	1.890	0.559	98.362	98.110	99.441
20.00	240.02	275.32	26.64	1.638	1.754	0.546	98.362	98.246	99.454
21.00	234.06	131.98	6.66	1.618	1.215	0.273	98.382	98.785	99.727
22.00	194.42	94.20	2.81	1.474	1.027	0.177	98.526	98.973	99.823
23.00	144.16	84.42	2.41	1.270	0.971	0.165	98.730	99.029	99.835
	5353.29	5466.42	701.38	1.617	1.716	0.685	98.383	98.284	99.315



Kurva 4. 2 Kurva Susut Energi Beban Seragam



Kurva 4. 3 Kurva Efisiensi Beban Seragam

Kurva susut energi pada setiap jenis pelanggan baik B1, B2 maupun B3 secara bentuk menyerupai bentuk kurva Pin atau kurva beban utama. Susut paling besar terjadi pada pelanggan golongan B2 yaitu pada pukul 15.00 atau setara dengan 2.321% dan susut paling kecil terjadi pada pelanggan B3 pada pukul 04.00 yaitu setara dengan 0.125%. Kondisi ini sesuai dengan teori dimana ketika konsumsi energi listrik besar maka arus pembebanan besar. Maka nilai susut akan menjadi menjadi sangat besar pula mengingat nilai susut berbanding lurus dengan kuadrat arus pembebanan. Sedangkan untuk grafik efisiensi terlihat bentuk kurvanya merupakan kebalikan dari grafik susut energi. Terlihat juga dari nilai efisiensi terbesar berada pada jam susut energi terkecil beban B3 (Jam 04.00) dan nilai efisiensi terkecil berada pada jam susut energi terbesar beban B2 (Jam 15.00).

Untuk total susut energi yang terjadi pada saluran tegangan rendah, susut total terbesar terjadi pada pelanggan golongan B2 yaitu 1.716% dan susut total terendah terjadi pada pelanggan golongan B3 yaitu 0.685%. Sedangkan untuk B1 susut energi yang dihasilkan sebesar 1.617%. Untuk jenis beban golongan tarif B3 nilai susut energi total sangat kecil karena nilai konsumsi energi listrik pada beban golongan tarif B3 jauh lebih kecil dibandingkan beban golongan B1 maupun beban golongan tarif B2.

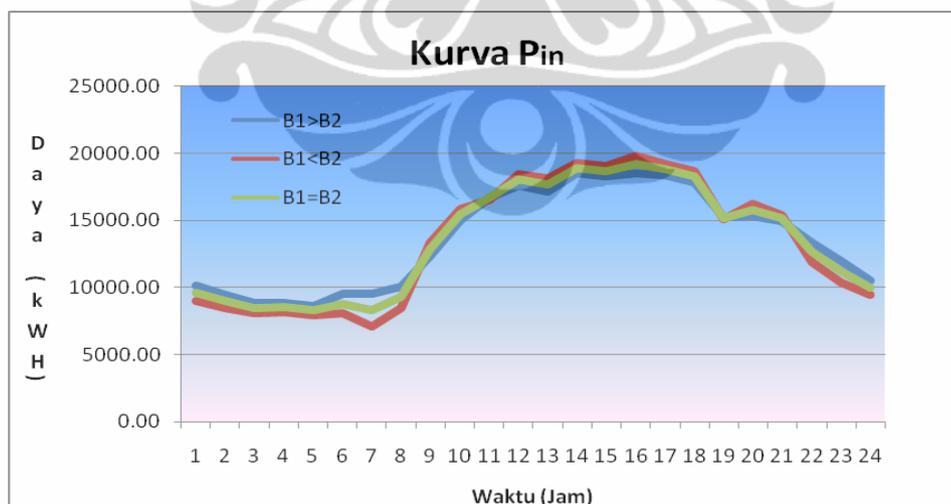
4.2 PEHITUNGAN SUSUT ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH BEBAN TIDAK SERAGAM

Dalam menghitung dan menganalisa susut energi jaringan distribusi tegangan rendah, selain menggunakan beban seragam digunakan juga variasi beban tidak seragam. Yang dimaksud variasi beban tidak seragam adalah dimana beban terdiri dari gabungan dua atau tiga jenis pelanggan. Variasi ini digunakan dengan mengkombinasikan persen pembebanan antara kedua atau ketiga beban sehingga didapatkan persen pembebanan yang baru, berikut dijabarkan skenario pengkombinasianya,

- Perhitungan Susut Energi Beban B1 dan B2
- Perhitungan Susut Energi Beban B2 dan B3
- Perhitungan Susut Energi Beban B3 dan B1
- Perhitungan Susut Energi Beban B1, B2 dan B3

4.2.1 Perhitungan Susut Energi Beban B1 dan B2

Dalam menghitung susut energi dengan beban B1 dan B2 ini di buat tiga buah kondisi sesuai dengan dijelaskan di bab sebelumnya. Berikut ditampilkan hasil perhitungan P_{in} yang ditampilkan dalam kurva,



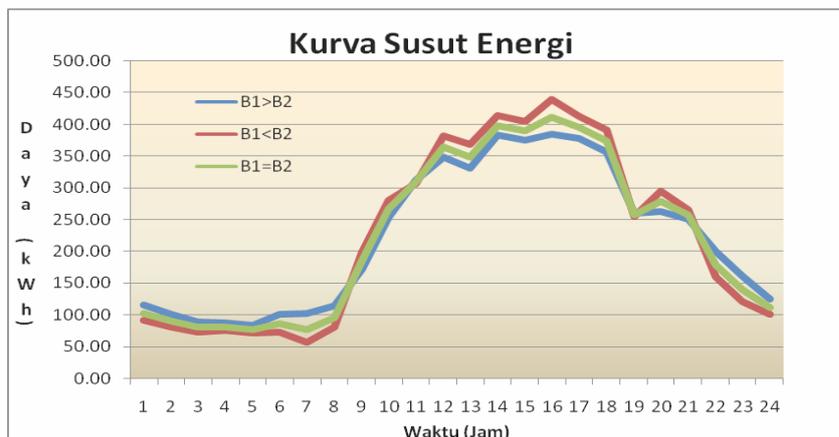
Kurva 4. 4 Kurva Pin Beban Tidak Seragam(B1,B2)

Tabel dan kurva di atas menggambarkan kombinasi profil beban antara B1 dan B2. Kombinasi ini membuat kurva Pin antar tiga kondisi berhimpitan satu sama lain. Untuk konsumsi maksimal berada pada jam 15.00 di kondisi B1 < B2 dan

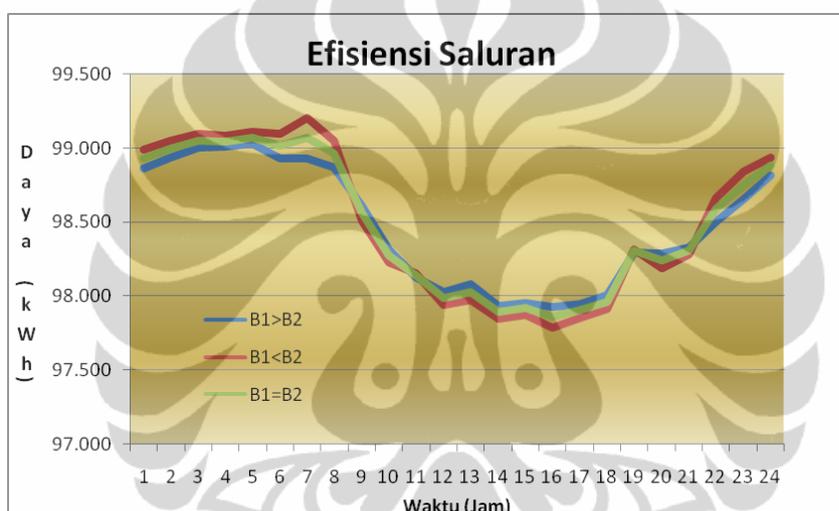
konsumsi minimal berada pada jam 06.00 di kondisi $B1 < B2$. Yang terlihat sedikit berbeda disini adalah tingkat konsumsi di luar waktu beban puncak. Untuk beban B1 yang lebih dominan tingkat konsumsinya lebih tinggi daripada untuk beban B2 yang lebih dominan. Sedangkan untuk kombinasi dimana beban B2 lebih dominan tingkat pemakaian energi listrik pada beban puncak-nya lebih besar daripada beban B1 dominan. Untuk susut energi yang terjadi akibat model pembebanan tidak seragam B1 B2 akan dijabarkan tabel di bawah,

Tabel 4. 2 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2)

Jam	Susut Energi (kWh)			% Susut			Efisiensi (%)		
	B1 > B2	B1 < B2	B1 = B2	B1 > B2	B1 < B2	B1 = B2	B1 > B2	B1 < B2	B1 = B2
00.00	115.30	91.44	103.02	1.135	1.011	1.073	98.865	98.989	98.927
01.00	100.85	80.50	90.39	1.062	0.949	1.005	98.938	99.051	98.995
02.00	88.80	73.30	80.86	0.996	0.905	0.951	99.004	99.095	99.049
03.00	87.70	75.38	81.42	0.990	0.918	0.954	99.010	99.082	99.046
04.00	83.77	71.32	77.42	0.968	0.893	0.930	99.032	99.107	99.070
05.00	101.68	73.15	86.83	1.066	0.904	0.985	98.934	99.096	99.015
06.00	101.80	56.76	77.65	1.067	0.797	0.932	98.933	99.203	99.068
07.00	114.54	80.35	96.69	1.132	0.948	1.040	98.868	99.052	98.960
08.00	172.09	198.36	184.99	1.387	1.489	1.438	98.613	98.511	98.562
09.00	253.37	280.31	266.67	1.683	1.770	1.727	98.317	98.230	98.273
10.00	312.58	306.17	309.37	1.869	1.850	1.860	98.131	98.150	98.140
11.00	348.12	381.10	364.43	1.973	2.064	2.018	98.027	97.936	97.982
12.00	330.32	367.44	348.64	1.922	2.027	1.974	98.078	97.973	98.026
13.00	382.81	414.06	398.28	2.069	2.152	2.110	97.931	97.848	97.890
14.00	374.56	404.48	389.37	2.046	2.127	2.086	97.954	97.873	97.914
15.00	384.19	438.78	411.04	2.072	2.215	2.144	97.928	97.785	97.856
16.00	377.53	411.70	394.43	2.054	2.145	2.100	97.946	97.855	97.900
17.00	356.08	390.40	373.05	1.995	2.089	2.042	98.005	97.911	97.958
18.00	260.37	254.75	257.55	1.706	1.688	1.697	98.294	98.312	98.303
19.00	262.65	294.40	278.30	1.714	1.814	1.764	98.286	98.186	98.236
20.00	250.38	264.53	257.41	1.673	1.720	1.696	98.327	98.280	98.304
21.00	200.39	159.57	179.40	1.497	1.336	1.416	98.503	98.664	98.584
22.00	160.55	120.44	139.77	1.340	1.160	1.250	98.660	98.840	98.750
23.00	124.59	100.72	112.34	1.180	1.061	1.121	98.820	98.939	98.879
Total	5345.03	5389.42	5359.31	1.633	1.672	1.650	98.367	98.328	98.350



Kurva 4.5 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2)

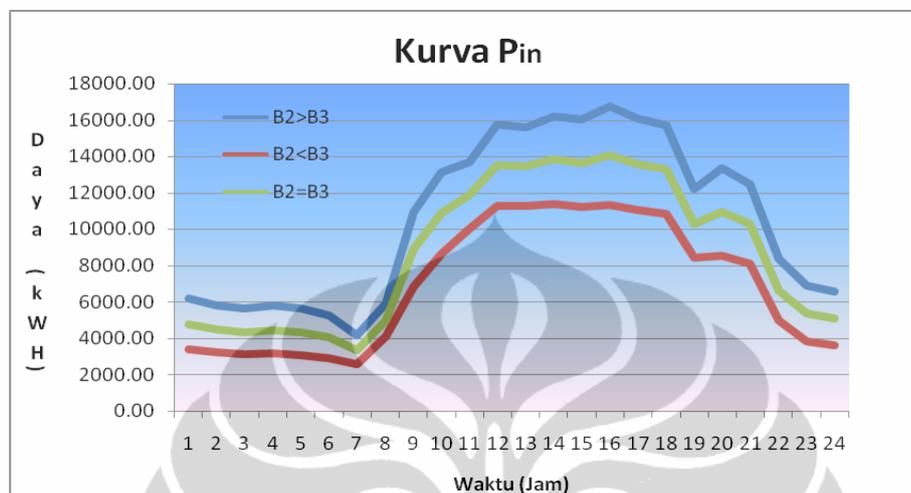


Kurva 4.6 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B1,B2)

Pada kurva susut terlihat susut maksimal terjadi pada jam 15.00 di kondisi $B1 < B2$ yaitu sebesar 2.215% dan susut terendah dalam sehari terjadi pada jam 16.00 yaitu sebesar 0.797%. Kurva susut ini secara bentuk memiliki bentuk yang sama dengan kurva Pin. Sedangkan untuk kurva efisiensi secara bentuk merupakan kebalikan dari kurva susut. Terlihat juga pada hasil pengolahan data dimana efisiensi saluran terbesar berada pada saat susut bernilai minimum (jam 06.00) dan efisiensi sistem bernilai minimum pada saat susut energi bernilai maksimum (jam 15.00). Untuk susut total jaringan distribusi tegangan rendah dengan beban tidak seragam, susut total paling besar terjadi pada saat komposisi beban $B2 > B1$ yaitu sebesar 1.672% dan susut terendah terjadi pada saat komposisi beban $B1 > B2$ yaitu sebesar 1.633%. Untuk beban $B2 = B3$ besar susutnya 1.650%.

4.2.2 Perhitungan Susut Energi Beban Beban B2 dan B3

Berikut ditampilkan hasil perhitungan Pin dalam bentuk kurva, dimana kombinasi yang digunakan berupa beban B2 dominan, B3 dominan dan B2 sama dengan B3.

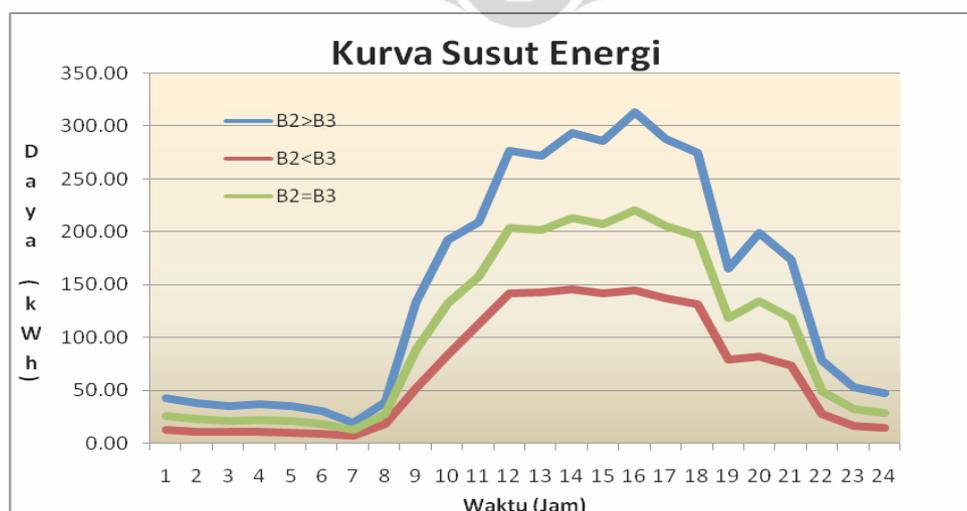


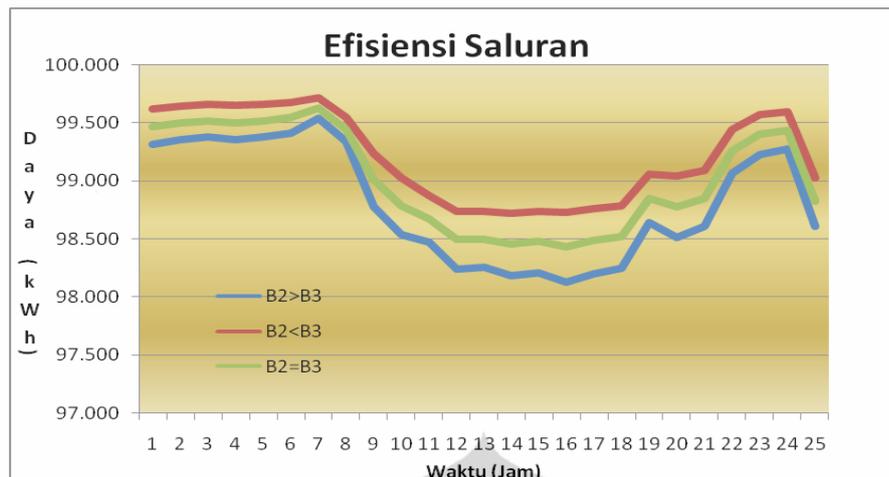
Kurva 4. 7 Kuva Pin Beban Tidak Seragam (B2,B3)

Tabel dan kurva di atas menggambarkan kombinasi profil beban antara B2 dan B3. Untuk konsumsi energi maksimal berada pada jam 15.00 di kondisi B2>B3 dan konsumsi minimal berada pada jam 06.00 di kondisi B2<B3. Untuk komposisi pembebanan B2<B3 terlihat bahwa *magnitude* kurva terlihat paling kecil karena seperti pada pembahasan beban B3 seragam, tingkat konsumsi total jenis komposisi pembebanan sangat kecil karena jumlah pelanggan dari golongan B3 paling sedikit dan perilaku pemakaian energi listrik-nya cukup jauh dari kapasitas sistem. Sedangkan untuk susut energi yang terjadi akibat model pembebanan tidak seragam B2 B3 akan dijabarkan tabel di bawah,

Tabel 4. 3 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B2 B3)

Jam	Susut Energi (kWh)			% Susut			Efisiensi (%)		
	B2 > B3	B2 < B3	B2 = B3	B2 > B3	B2 < B3	B2 = B3	B2 > B3	B2 < B3	B2 = B3
00.00	42.28	12.95	25.51	0.688	0.380	0.534	99.312	99.620	99.466
01.00	37.52	11.56	22.68	0.648	0.359	0.504	99.352	99.641	99.496
02.00	35.14	10.75	21.19	0.627	0.347	0.487	99.373	99.653	99.513
03.00	37.29	11.25	22.38	0.646	0.355	0.500	99.354	99.645	99.500
04.00	35.02	10.60	21.04	0.626	0.344	0.485	99.374	99.656	99.515
05.00	30.81	9.49	18.62	0.587	0.326	0.456	99.413	99.674	99.544
06.00	19.16	7.42	12.61	0.463	0.288	0.375	99.537	99.712	99.625
07.00	38.85	18.76	27.90	0.659	0.458	0.559	99.341	99.542	99.441
08.00	133.78	52.48	88.46	1.223	0.766	0.994	98.777	99.234	99.006
09.00	192.02	84.36	132.73	1.465	0.971	1.218	98.535	99.029	98.782
10.00	209.58	113.02	157.60	1.531	1.124	1.327	98.469	98.876	98.673
11.00	276.77	142.22	203.94	1.759	1.261	1.510	98.241	98.739	98.490
12.00	272.13	142.54	202.15	1.744	1.262	1.503	98.256	98.738	98.497
13.00	293.57	145.56	213.14	1.812	1.276	1.544	98.188	98.724	98.456
14.00	286.17	141.56	207.57	1.789	1.258	1.523	98.211	98.742	98.477
15.00	313.07	144.23	220.57	1.871	1.270	1.570	98.129	98.730	98.430
16.00	288.15	136.76	205.48	1.795	1.236	1.516	98.205	98.764	98.484
17.00	274.99	131.33	196.60	1.753	1.212	1.483	98.247	98.788	98.517
18.00	165.44	79.32	118.47	1.360	0.942	1.151	98.640	99.058	98.849
19.00	198.76	82.21	134.16	1.491	0.959	1.225	98.509	99.041	98.775
20.00	173.34	73.85	118.37	1.392	0.909	1.150	98.608	99.091	98.850
21.00	77.74	27.61	49.50	0.932	0.556	0.744	99.068	99.444	99.256
22.00	53.21	16.69	32.38	0.771	0.432	0.602	99.229	99.568	99.398
23.00	47.59	14.76	28.84	0.729	0.406	0.568	99.271	99.594	99.432
Total	3532.40	1621.26	2481.88	1.393	0.969	1.179	98.607	99.031	98.821

**Kurva 4. 8** Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B2,B3)

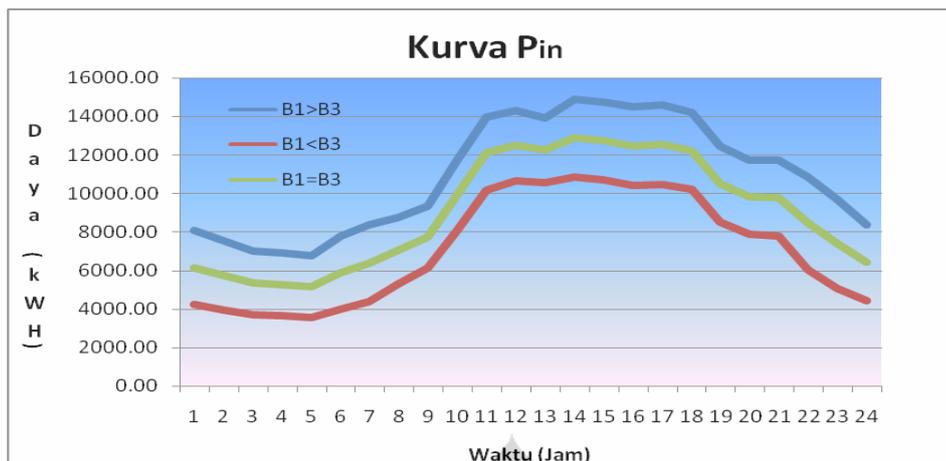


Kurva 4.9 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B2,B3)

Pada kurva susut terlihat susut maksimal terjadi pada jam 15.00 di komposisi beban $B2 > B3$ yaitu sebesar 1,871% dan susut terendah dalam sehari terjadi pada komposisi beban $B2 < B3$ di jam 06.00 yaitu sebesar 0,288%. Kurva susut energi ini memiliki kesamaan dengan kurva Pin dari segi bentuk. Sedangkan untuk kurva efisiensi secara bentuk merupakan kebalikan dari kurva susut. Terlihat juga pada hasil pengolahan data dimana efisiensi saluran terbesar berada pada saat susut bernilai minimum (jam 06.00) dan efisiensi sistem bernilai minimum pada saat susut energi bernilai maksimum (jam 11.00). Untuk susut total jaringan distribusi tegangan rendah dengan beban tidak seragam, susut total paling besar terjadi pada saat beban B2 lebih dominan secara kuantitas ($B2 > B3$) yaitu sebesar 1,393% dan susut terendah terjadi pada saat beban B3 lebih dominan dari B2 besar susut totalnya sebesar 0,996% ($B2 > B3$). Sedangkan pada saat beban B2 sama banyak dengan B3 nilai total susutnya sebesar 1,179%

4.2.3 Perhitungan Susut Energi Beban B1 dan B3

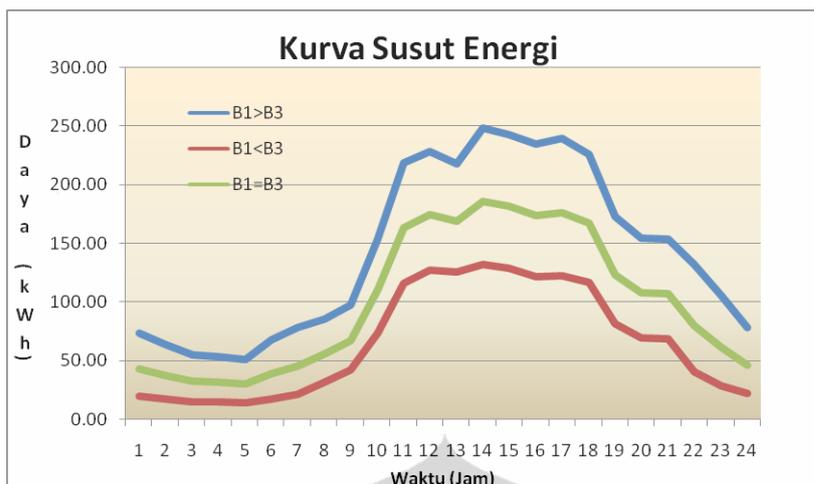
Berikut ditampilkan hasil perhitungan Pin, dimana komposisi pembebanan yang digunakan berupa beban B1 dominan, B3 dominan dan B1 sama dengan B3. Dimana untuk pemakaian energi listrik maksimal terjadi pada komposisi beban $B1 > B3$ di jam 13.00 dan pemakaian energi listrik minimal terjadi pada komposisi pembebanan $B1 < B3$ di jam 04.00



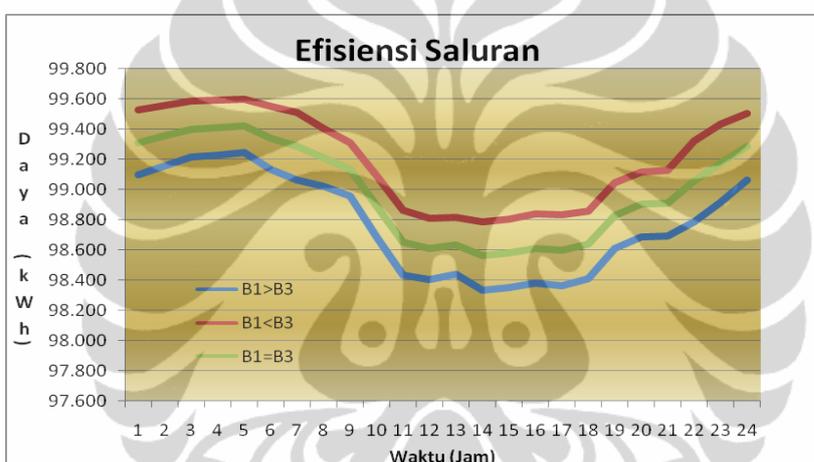
Kurva 4. 10 Kurva Pin Beban Tidak Seragam (B1,B3)

Tabel 4. 4 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B2 B3)

Jam	Susut Energi (Watt)			% Susut			Efisiensi (%)		
	B1 > B3	B1 < B3	B1 = B3	B1 > B3	B1 < B3	B1 = B3	B1 > B3	B1 < B3	B1 = B3
00.00	73.27	20.07	42.51	0.905	0.474	0.689	99.095	99.526	99.311
01.00	63.97	17.66	37.21	0.846	0.444	0.645	99.154	99.556	99.355
02.00	55.30	15.40	32.27	0.786	0.415	0.601	99.214	99.585	99.399
03.00	53.30	14.95	31.18	0.772	0.409	0.590	99.228	99.591	99.410
04.00	51.20	14.33	29.93	0.757	0.400	0.578	99.243	99.600	99.422
05.00	67.74	17.88	38.80	0.870	0.447	0.659	99.130	99.553	99.341
06.00	78.33	21.54	45.51	0.936	0.491	0.713	99.064	99.509	99.287
07.00	86.05	31.76	55.59	0.981	0.596	0.788	99.019	99.404	99.212
08.00	97.55	42.51	67.21	1.044	0.689	0.867	98.956	99.311	99.133
09.00	154.10	73.38	110.04	1.313	0.906	1.109	98.687	99.094	98.891
10.00	218.91	115.94	163.37	1.564	1.139	1.351	98.436	98.861	98.649
11.00	228.76	127.18	174.27	1.599	1.192	1.396	98.401	98.808	98.604
12.00	217.76	125.30	168.36	1.560	1.184	1.372	98.440	98.816	98.628
13.00	248.50	131.74	185.52	1.667	1.214	1.440	98.333	98.786	98.560
14.00	243.03	128.35	181.15	1.648	1.198	1.423	98.352	98.802	98.577
15.00	235.25	121.00	173.42	1.622	1.163	1.392	98.378	98.837	98.608
16.00	239.30	122.08	175.81	1.636	1.168	1.402	98.364	98.832	98.598
17.00	225.84	116.50	166.68	1.589	1.141	1.365	98.411	98.859	98.635
18.00	173.42	81.68	123.28	1.392	0.956	1.174	98.608	99.044	98.826
19.00	154.58	69.78	108.02	1.315	0.883	1.099	98.685	99.117	98.901
20.00	153.61	68.27	106.68	1.310	0.874	1.092	98.690	99.126	98.908
21.00	131.88	40.92	79.93	1.214	0.676	0.945	98.786	99.324	99.055
22.00	105.35	28.71	61.01	1.085	0.567	0.826	98.915	99.433	99.174
23.00	78.67	21.96	45.94	0.938	0.496	0.717	99.062	99.504	99.283
Total	3435.65	1568.89	2403.69	1.393	0.917	1.109	98.607	99.08	98.891



Kurva 4. 11 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B3)



Kurva 4. 12 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B1,B3)

Tabel di atas merupakan tabel hasil perhitungan susut energi dan efisiensi saluran pada kombinasi beban B2 dan B3. Pada kurva susut terlihat susut maksimal terjadi pada jam 13.00 dikomposisi pembebanan B1>B3 yaitu sebesar 1.667% dan susut terendah dalam sehari terjadi pada jam 04.00 di komposisi pembebanan B1<B3 yaitu sebesar 0.578%. Kurva susut energi ini memiliki kesamaan dengan kurva Pin dari segi bentuk. Sedangkan untuk kurva efisiensi secara bentuk merupakan kebalikan dari kurva susut. Terlihat juga pada hasil pengolahan data dimana efisiensi saluran terbesar berada pada saat susut bernilai minimum (jam 04.00) dan efisiensi sistem bernilai minimum pada saat susut energi bernilai maksimum (jam 13.00). Untuk susut total jaringan distribusi tegangan rendah dengan beban tidak seragam, susut total paling besar terjadi pada saat beban B3 lebih dominan secara kuantitas (B1>B3) yaitu sebesar 1.393% dan susut

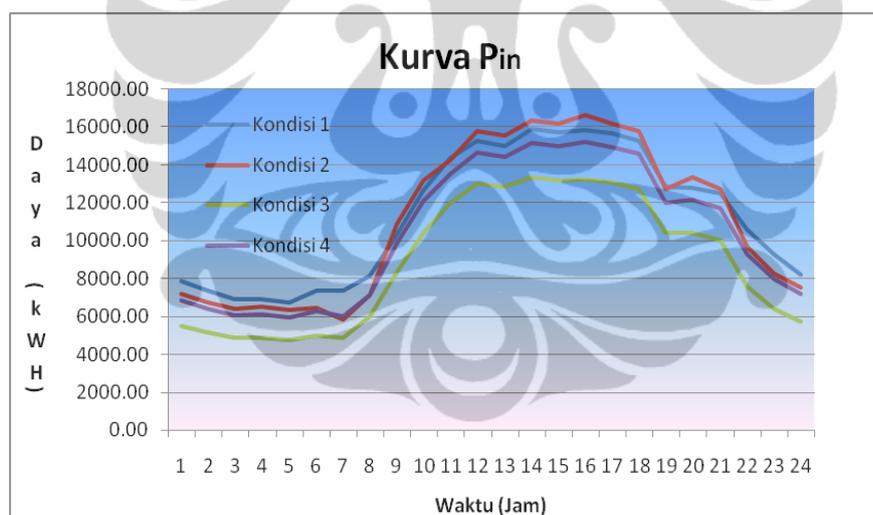
terendah terjadi pada saat beban B3 lebih dominan dari B1 besar susut totalnya sebesar 0.917% ($B1 < B3$). Sedangkan pada saat beban B2 sama banyak dengan B3 nilai total susutnya sebesar 0.917%.

4.2.4 Perhitungan Susut Energi Beban B1, B2 dan B3

Perhitungan ini menggunakan ketiga jenis profil beban dari pelanggan golongan tarif B1, B2 dan B3. Dimana kondisi variasi pembebanan dari ketiga jenis pelanggan sebagai berikut.

- Kondisi I, Bobot B1 dominan, bobot B2 dan B3 sama besar .
- Kondisi II, Bobot B2 dominan, bobot B1 dan B3 sama besar.
- Kondisi III, Bobot B3 dominan, bobot B1 dan B2 sama besar.
- Kondisi IV bobot B1 B2 dan B3 sama besar.

Berikut ditampilkan hasil perhitungan variasi di atas,



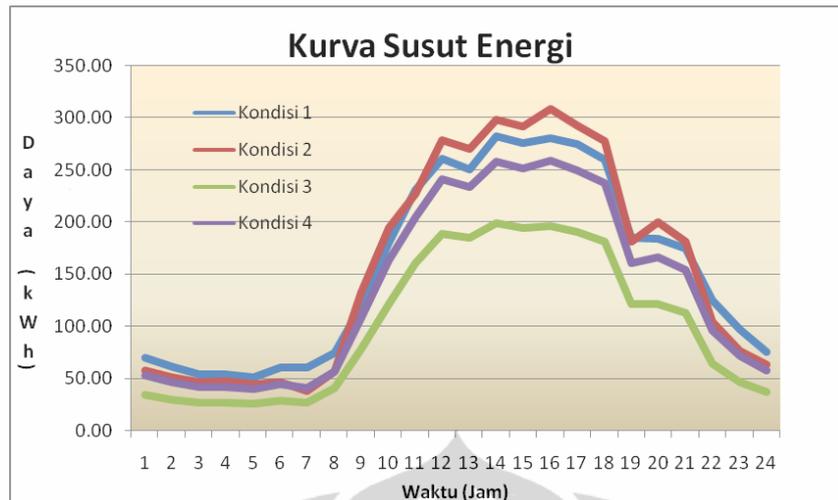
Kurva 4.13 Kurva Pin Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3)

Dari keempat kurva ini terlihat bagaimana kombinasi tiga jenis beban. Secara keseluruhan kurva beban tiap kondisi ini tetap membawa karakteristik utama beban dominannya. Untuk pemakaian energi listrik terbesar dalam sehari berada pada Kondisi 2 (B2 Dominan) sedangkan kondisi 3 (B3 Dominan) memiliki nilai pemakaian energi listrik dalam sehari paling kecil di antara ketiga kondisi yang lain. Dari kurva dan tabel juga dapat terlihat nilai Pin terbesar Untuk nilai konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada Kondisi II (Beban B2 dominan)

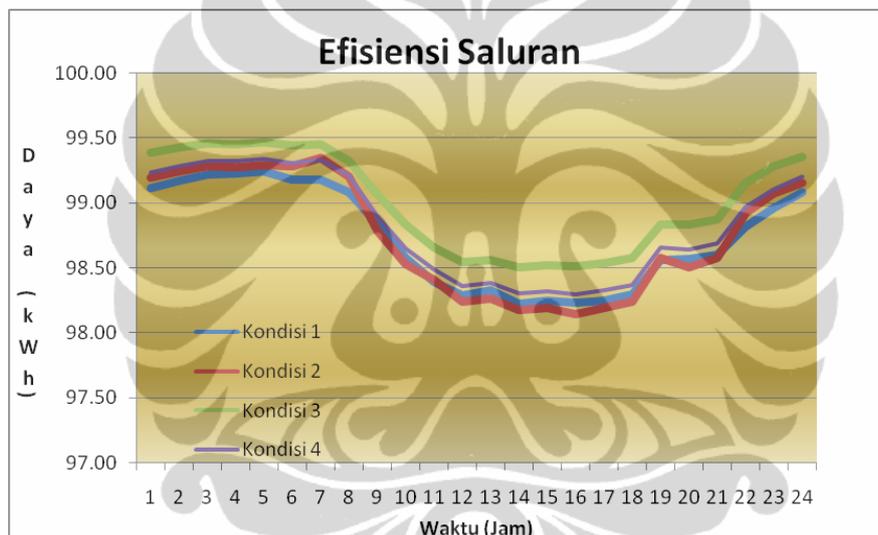
di jam 15.00. Sedangkan untuk nilai konsumsi terendah terendah terjadi pada Kondisi III (Beban B3 dominan) di jam 04.00. Sedangkan berdasarkan profil beban ke empat kondisi ini, akan dihitung susut energi yang terjadi. Berikut ditampilkan hasil perhitungan susut energi ke empat kondisi,

Tabel 4.5 Pengolahan Data Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3)

Jam	Susut Energi (kW)				% Susut				Efisiensi (%)			
	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
0	69.47	57.76	33.47	52.42	0.88	0.80	0.61	0.77	99.12	99.20	99.39	99.23
1	60.90	50.91	29.50	46.11	0.83	0.75	0.57	0.72	99.17	99.25	99.43	99.28
2	53.82	46.21	26.44	41.28	0.78	0.72	0.54	0.68	99.22	99.28	99.46	99.32
3	53.34	47.29	26.60	41.55	0.77	0.73	0.55	0.68	99.23	99.27	99.45	99.32
4	50.91	44.79	25.29	39.51	0.75	0.71	0.53	0.66	99.25	99.29	99.47	99.34
5	60.43	46.47	27.80	43.84	0.82	0.72	0.56	0.70	99.18	99.28	99.44	99.30
6	60.51	38.21	26.50	40.57	0.82	0.65	0.54	0.67	99.18	99.35	99.46	99.33
7	74.73	57.12	40.56	56.61	0.91	0.80	0.67	0.80	99.09	99.20	99.33	99.20
8	118.80	132.32	77.47	108.19	1.15	1.22	0.93	1.10	98.85	98.78	99.07	98.90
9	179.83	193.92	121.12	163.34	1.42	1.47	1.16	1.35	98.58	98.53	98.84	98.65
10	230.59	227.15	160.47	204.72	1.61	1.59	1.34	1.51	98.39	98.41	98.66	98.49
11	260.68	278.40	188.82	240.99	1.71	1.76	1.45	1.64	98.29	98.24	98.55	98.36
12	250.38	270.43	184.87	233.73	1.67	1.74	1.44	1.62	98.33	98.26	98.56	98.38
13	281.87	298.54	199.09	257.89	1.78	1.83	1.49	1.70	98.22	98.17	98.51	98.30
14	275.43	291.38	194.13	251.74	1.75	1.80	1.47	1.68	98.25	98.20	98.53	98.32
15	279.61	308.45	196.29	259.15	1.77	1.86	1.48	1.70	98.23	98.14	98.52	98.30
16	274.22	292.32	190.36	250.21	1.75	1.81	1.46	1.67	98.25	98.19	98.54	98.33
17	259.61	277.82	181.33	237.64	1.70	1.76	1.42	1.63	98.30	98.24	98.58	98.37
18	184.30	181.34	120.86	160.75	1.44	1.42	1.16	1.34	98.56	98.58	98.84	98.66
19	183.27	199.73	120.73	166.05	1.43	1.49	1.16	1.36	98.57	98.51	98.84	98.64
20	173.88	181.22	112.45	154.19	1.39	1.42	1.12	1.31	98.61	98.58	98.88	98.69
21	124.71	104.34	63.81	95.85	1.18	1.08	0.84	1.04	98.82	98.92	99.16	98.96
22	96.37	76.67	45.57	71.25	1.04	0.93	0.71	0.89	98.96	99.07	99.29	99.11
23	75.49	63.75	36.90	57.49	0.92	0.84	0.64	0.80	99.08	99.16	99.36	99.20
Σ	256.43	242.28	241.40	246.70	5.15	5.08	5.17	5.29	94.85	94.85	94.92	97.77



Kurva 4. 14 Kurva Susut Energi Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3)



Kurva 4. 15 Kurva Efisiensi Beban Tidak Seragam (B1,B2,B3)

Kurva susut energi ke empat kondisi ini secara bentuk memiliki kesamaan bentuk dengan kurva Pin dari masing-masing kondisi. Dari tabel juga terlihat nilai susut energi terbesar terjadi juga pada saat ketika nilai Pin maksimum yaitu pada kondisi 2 (B2 dominan) di jam 15.00 atau setara dengan 1.86% dan nilai susut energi terkecil terjadi pada saat nilai Pin juga paling kecil yaitu pada kondisi 3 (B 3 dominan) di jam 04.00 atau setara dengan 0.53%. Dari variasi ini dapat disimpulkan bahwa nilai susut energi yang terjadi akan berbanding lurus dengan besarnya nilai Pin.

Hubungan ini terbalik pada efisiensi seperti yang terlihat pada kurva efisiensi. Kurva efisiensi tersebut secara bentuk merupakan kebalikan dari kurva

susut energi. Terlihat juga efisiensi saluran terbesar terjadi pada saat susut energi terkecil terjadi yaitu kondisi 3 (B 3 dominan) di jam 04.00 dan efisiensi saluran terkecil terjadi pada saat susut energi terbesar terjadi yaitu kondisi 2 (B2 dominan) di jam 15.00.

4.3 Analisa

Dalam melakukan proses penganalisaan hasil yang didapat dari penghitungan digunakan dua macam model penganalisaan. Perbedaan model penganalisaan ini digunakan untuk mencari hubungan ideal antara variasi pembebanan terhadap susut energi yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan rendah. Analisa dilakukan dengan menganalisa variasi pembebanan yang terjadi berupa perubahan tingkat konsumsi daya listrik (P_{out}) selama perjam dan total pemakaian energi listrik selama satu hari.

Pada analisa ini juga akan dicari komposisi pembebanan yang paling ideal dilihat dari nilai susut energi dan efisiensi salurannya serta melihat pengaruh pertumbuhan dari beban yang ideal ini terhadap nilai susut dan efisiensi saluran yang terjadi selama masa pertumbuhan.

4.3.1 Analisa Hubungan P_{out} terhadap Susut Energi

Setelah didapat nilai P_{out} dan susut energi melalui pengolahan data, selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap hubungan antara besarnya P_{out} terhadap susut energi yang terjadi dalam setiap periode sampel waktu. Periode sampel waktu disini adalah setiap jam selama 24 jam. Metode yang digunakan dalam menganalisa hubungan kedua parameter ini adalah dengan menggunakan metode linier melalui data hasil perhitungan P_{out} dan susut energi pada jam yang sama. Data P_{out} dan susut energi yang digunakan disini merupakan data hasil pengolahan data dari perhitungan beban seragam dan perhitungan beban tidak seragam. Parameter yang digunakan disini merupakan P_{out} rata-rata dan susut energi rata-rata dimana nilai rata-rata dan susut energi yang digunakan adalah rata-rata dari tiap jam selama 24 jam.

Nilai P_{in} rata-rata setiap jam dari beban seragam dan tidak seragam disini merupakan parameter yang mewakili perubahan beban sehingga dapat dicari

hubungan dengan membuat analisa regresi linier P_{out} terhadap susut energi yang terjadi. Sehingga setelah melakukan pendekatan regresi linier tersebut akan didapatkan fungsi susut energi terhadap perubahan variasi beban ketika kapasitas sistem yang terpasang tetap. Berikut ditampilkan tabel P_{out} rata-rata dan Susut energi rata-rata, dimana x adalah P_{out} rata-rata dalam kW dan y adalah susut energi dalam kWh

Tabel 4. 6 Data Acuan Regresi Linier (P_{out} vs Susut Enegi)

Jam	x	Y	x^2	xy
00.00	6787.94	59.48762	46076079.88	403798.2
01.00	6369.61	52.27623	40571978.05	332979.4
02.00	6030.20	46.64919	36363254.1	281303.7
03.00	6049.41	46.87023	36595377.29	283537.3
04.00	5900.01	44.55742	34810100.48	262889.1
05.00	6211.40	50.42098	38581535.03	313185.1
06.00	5975.85	48.16831	35710742.65	287846.4
07.00	7053.21	62.44267	49747728.09	440421.1
08.00	9720.95	116.4495	94496938.81	1132000
09.00	11913.96	173.2315	141942434.5	2063873
10.00	13319.00	213.096	177395802.5	2838226
11.00	14430.85	251.182	208249526.1	3624771
12.00	14216.20	242.8981	202100246.9	3453087
13.00	14918.26	269.799	222554388.7	4024930
14.00	14742.28	263.5299	217334924.9	3885032
15.00	14951.78	273.3147	223555821.5	4086542
16.00	14697.04	263.0834	216003024.3	3866548
17.00	14329.71	249.6549	205340481	3577481
18.00	11821.42	169.5002	139746002.1	2003733
19.00	12009.61	177.5042	144230695.7	2131756
20.00	11579.58	164.3866	134086691.1	1903528
21.00	9152.32	106.7722	83765048.66	977213.4
22.00	7902.19	81.21221	62444575.69	641754.1
23.00	7106.20	65.00265	50498131.38	461922.1
Sum	247189	3491.49	2842201529	43278357
Rata rata	10299.54	145.4787		
SS xy				7317617
SS xx			2842201100	

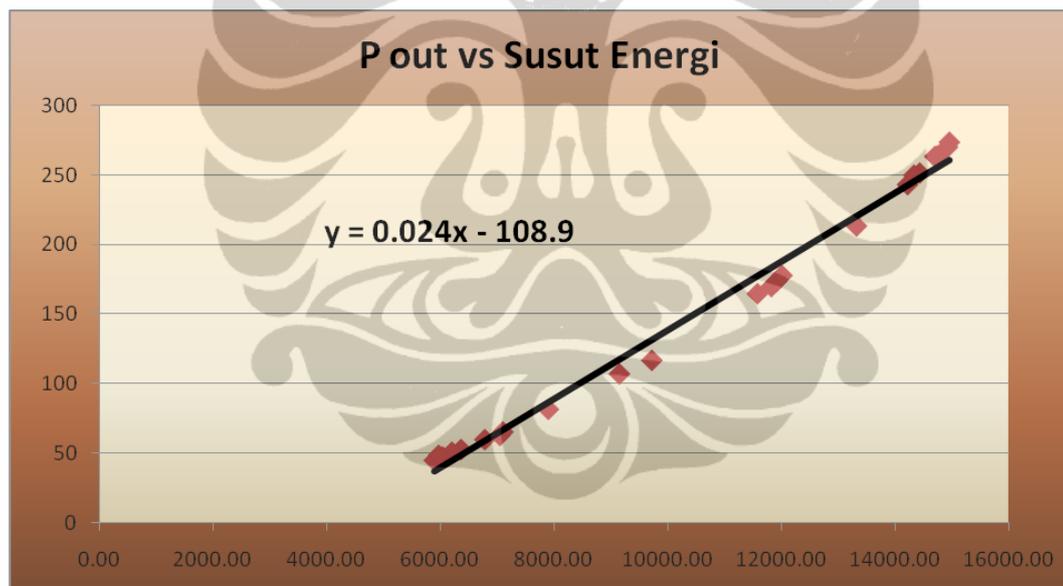
$$b = \frac{SS\ xy}{SS\ xx} = \frac{12873.597}{141473.953} = 0.0024$$

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b\bar{x} = (145.4787) - (0.024)(10299.54) \\
 &= -108.9
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas di dapatkanlah koefisien a dan b sebesar -7597 dan -0.091. Sehingga melalui koefisien di atas didapatkanlah tren linier dari hubungan P_{in} dan susut energi,

$$y = 0.0024x - 108.9$$

Dengan nilai standar deviasi dari persamaan sebesar **9.35**. Standard deviasi ini menggambarkan batas toleransi penyebaran nilai susut energi, baik lebih besar 9.35 kW ataupun 9.35 kW lebih besar ketika nilai x dimasukkan ke dalam persamaan. Untuk mempermudah melihat hubungan antara dua parameter tersebut, berikut digambarkan regresi linier ini ke dalam plot scatter, maka kurva tersebut akan membentuk tren linier yang terlihat seperti bawah ini,



Kurva 4. 16 Kurva Pengaruh P_{out} terhadap Susut

Dari kurva terlihat adanya hubungan linier antara P_{out} dengan susut energi yang terjadi di saluran. Kurva disini menyatakan adanya hubungan antara P_{out} dan susut energi dimana hubungannya susut energi yang terjadi berbanding lurus dengan P_{out} . Dimana ketika nilai P_{out} besar maka susut energi yang terjadi pada saluran juga akan semakin besar, begitu juga ketika P_{out} semakin kecil maka begitu juga dengan susut energi yang terjadi pada jaringan. Nilai P_{out} yang merupakan daya total yang dikirim ke saluran ini dipengaruhi oleh kebutuhan

daya pada rentang waktu tersebut, sehingga dapat dikatakan ketika permintaan akan daya listrik di pelanggan semakin besar dan kapasitas sistem yang terpasang tetap, maka nilai susut energi yang terjadi pada saluran akan juga sangat besar.

Melalui persamaan dan kurva tersebut dapat dinyatakan bahwa variasi pembebanan jaringan distribusi tegangan rendah pada beban sektor komersil dapat diwakili dengan variasi dari nilai pemakaian daya listrik di tiap jamnya (P_{out}).

4.3.2 Analisa Total Pemakaian Energi Listrik Sehari dengan Susut Energi

Analisa total pemakaian energi listrik sehari ini merupakan model penganalisaan dimana nilai total pemakaian sehari baik dari beban seragam dan beban seragam dijadikan parameter yang menggambarkan variasi pembebanan. Variabel yang digunakan dalam melakukan analisa ini antara lain total pemakaian energi listrik (P_{out}), total standard deviasi dari pemakaian energi listrik (P_{out}), efisiensi saluran dan total susut energi yang terjadi selama sehari.

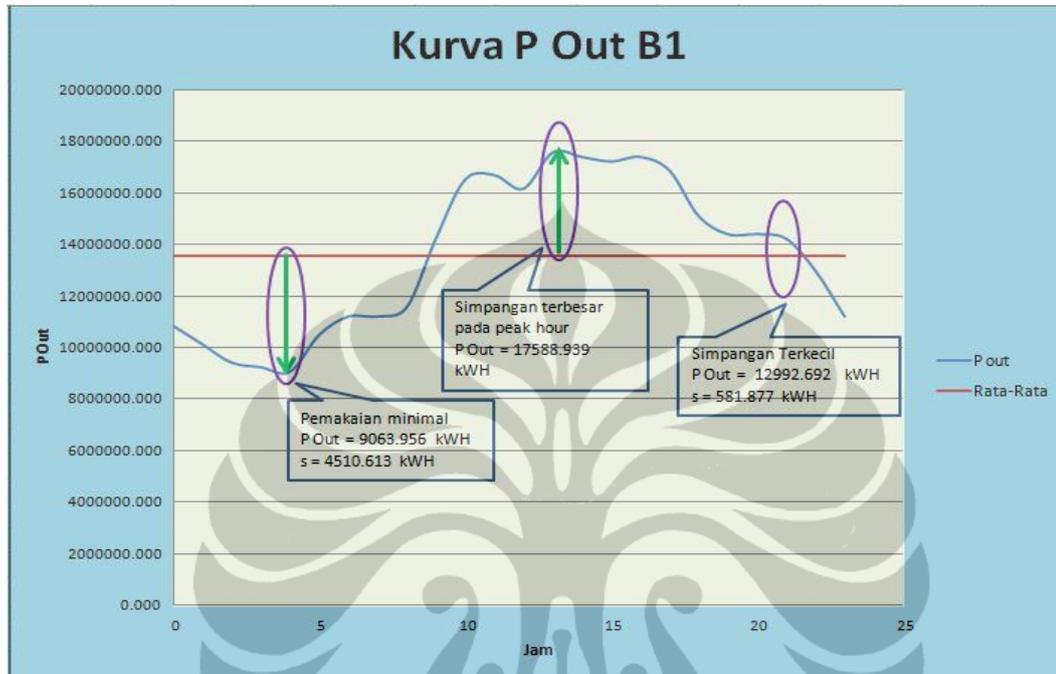
Variabel variabel tersebut didapat dari hasil penghitungan beban B1 seragam, beban B2 seragam, beban B3 seragam, beban B1 B2, beban B2 B3, beban B1 B3 serta beban B1 B2 B3. Dimana total kombinasi ini berjumlah 16 kombinasi. Setiap kombinasi pembebanan tersebut memiliki karakteristik parameter analisa yang berbeda-beda sehingga dengan menganalisa data tersebut dapat ditarik kesimpulan terkait susut energi yang terjadi. Berikut digambarkan parameter analisa pada 16 kombinasi tersebut,

Tabel 4. 7 Tabel Analisa Total Harian

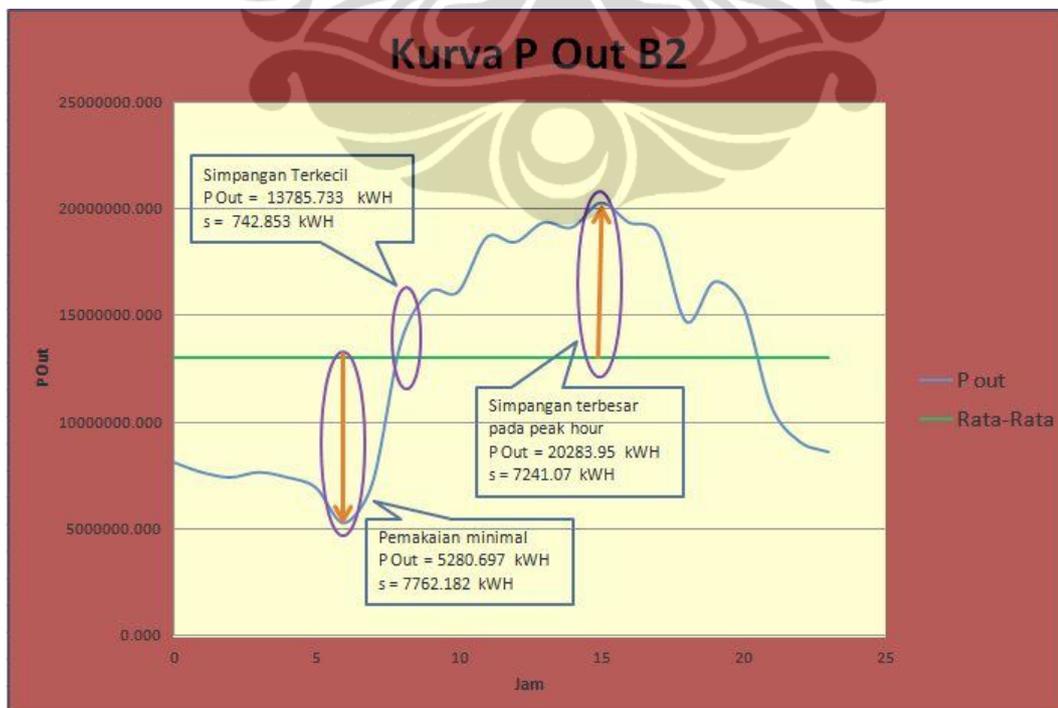
Kombinasi Beban	P _{out} Total (kW)	Efisiensi (%)	Losses (%)	Standard Deviasi P _{out}
B1 Seragam	325789.68	98.383	1.617	2993.66
B2 Seragam	313026.94	98.284	1.716	5202.38
B3 Seragam	101703.72	99.315	0.685	2747.11
Rata - Rata			1.339	3647.71
B1 > B2 (70%,30%)	322003.05	98.367	1.633	3594.22
B1 < B2 (30%,70%)	316898.82	98.328	1.672	4489.68
B1 = B2 (50%,50%)	319458.85	98.350	1.650	4031.96
B2 > B3 (70%,30%)	250134.48	98.607	1.393	4453.22
B2 < B3 (30%,70%)	165610.31	99.031	0.969	3463.85
B2 = B3 (50%,50%)	207967.35	98.821	1.179	3956.01
B1 > B3 (70%,30%)	259085.95	98.607	1.393	2887.50
B1 < B3 (30%,70%)	169457.57	99.083	0.917	2786.86
B1 = B3 (50%,50%)	214370.35	98.891	1.109	2830.88
Rata - Rata			1.324	3610.462
B1 Dominan, B2=B3 (50%,25%,25%)	267062.95	98.621	1.379	3423.35
B2 Dominan, B1=B3 (50%,25%,25%)	263867.13	98.593	1.407	3986.75
B3 Dominan, B1=B2 (50%,25%,25%)	211181.21	98.862	1.138	3374.02
B1=B2=B3	247405.41	98.694	1.306	3591.26
Rata - Rata			1.308	3593.85

Dari tabel total pemakaian daya (P_{out}) selama sehari didapatkan gambaran bahwa pemakain total terbesar selama sehari merupakan beban B1 seragam yaitu sebesar 325789.68 kW dengan nilai susut energi sebesar **1.617 %**. Dengan nilai pemakain energi listrik terbesar selama satu hari sekilas beban B1 seragam seharusnya menjadi kombinasi beban dengan nilai susut energi terbesar selama satu hari. Namun, susut energi terbesar selama satu hari senilai **1.716 %** terjadi sesuai hasil perhitungan justru terjadi pada kombinasi beban B2 yang memiliki nilai pemakaian daya listrik (Pin) total sehari hanya 313026.94 kW. Dari sini kita

dapat menganalisa bahwa sebenarnya ada parameter lain yang mempengaruhi nilai susut energi total selama satu hari. Untuk melihat dan menganalisa parameter yang mempengaruhi nilai susut energi total tersebut disini coba dianalisa kurva beban dari kombinasi beban B1 seragam dan beban B2 seragam.



Kurva 4. 17 Kurva Simpangan Beban B1 Seragam



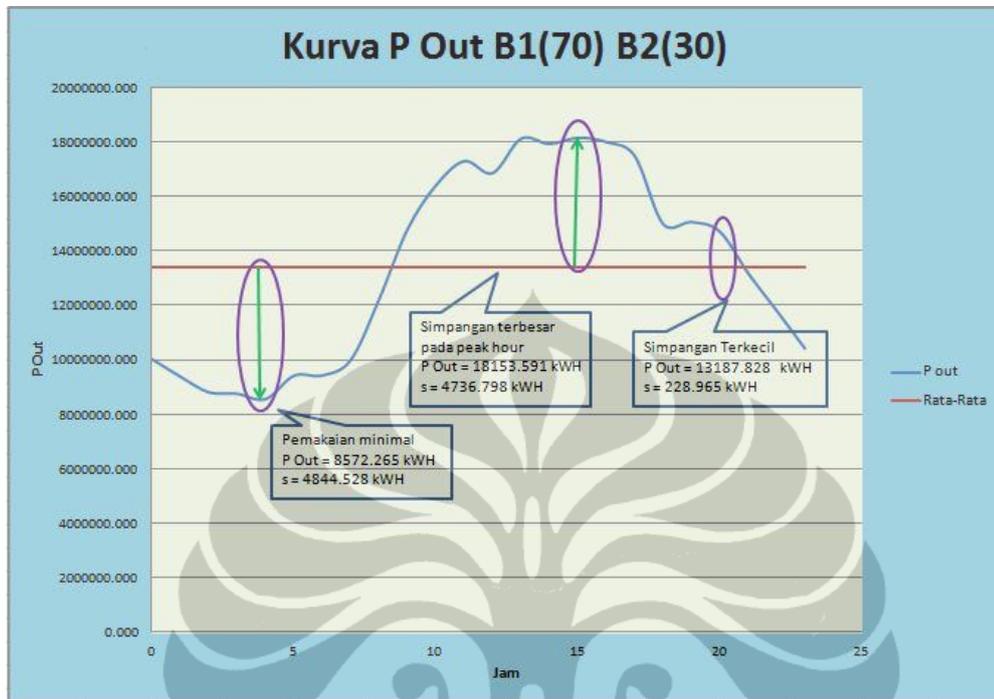
Kurva 4. 18 Kurva Simpangan Beban B3 Seragam

Dari kurva di atas dapat kita lihat secara sekilas bahwa nilai rata-rata pemakaian energi listrik selama sehari pada kombinasi beban B1 lebih besar daripada rata-rata pemakaian energi pada kombinasi beban B2 seragam. Namun, yang dapat kita perhatikan disini kurva beban B1 seragam terlihat lebih landai baik ketika dia menuju waktu beban puncak maupun setelah waktu beban puncak atau dengan kata lain kenaikan atau penurunan pemakaian pada kurva beban B1 seragam tidak terlalu drastis. Berbeda dengan kurva beban B1 seragam, kurva beban B2 seragam terlihat kenaikan menuju waktu beban puncak dan penurunan setelah waktu beban puncak terlihat curam atau dengan kata lain kenaikan dan penurunannya sangat drastis. Pernyataan ini diperkuat juga dengan data yang terlihat di kurva bahwa nilai simpangan terhadap rata-rata baik pada saat jam puncak maupun terendah dari kurva beban B1 seragam lebih rendah bila dibandingkan nilai simpangan terhadap jam puncak dan terendah pada kurva beban B3 seragam.

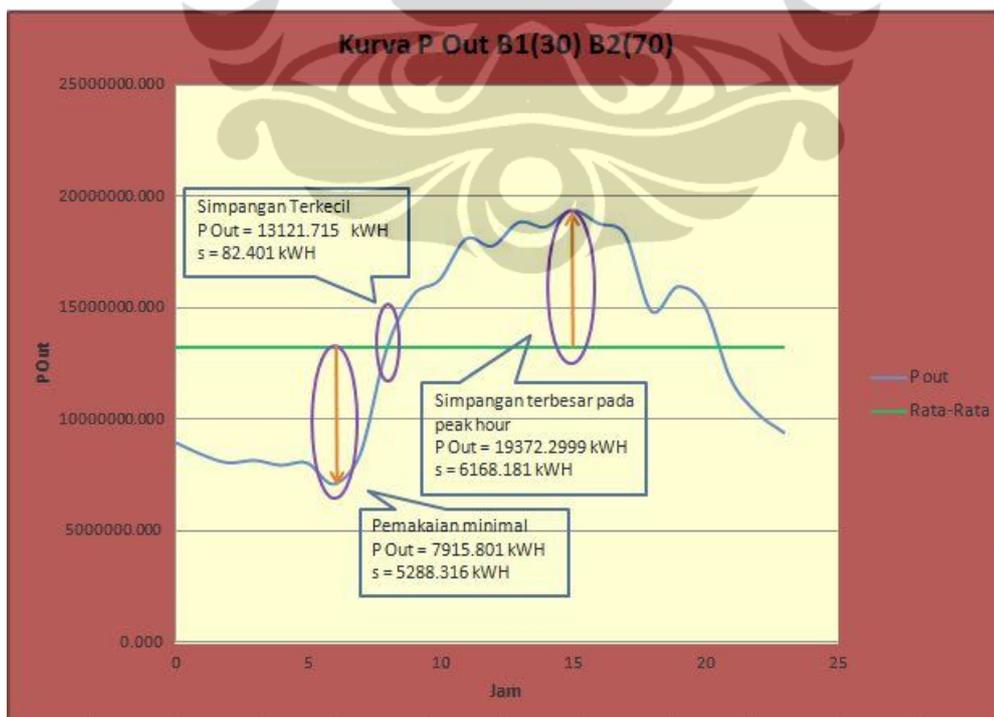
Bentuk model analisa simpangan ini merupakan model penganalisaan paling sederhana untuk menentukan parameter atau faktor yang mempengaruhi nilai total susut energi selama sehari. Untuk meneliti lebih jauh terkait parameter yang mempengaruhi tersebut dihitung nilai simpangan total selama 24 jam baik dari kurva beban B1 seragam maupun kurva beban B2 seragam. Untuk menghitung total simpangan dari kurva beban B1 seragam dan B2 seragam dapat digunakan perhitungan standard deviasi pada kedua kurva beban tersebut. Dari perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa nilai standard deviasi pada kurva beban B1 seragam sebesar 2933.66 kW dan pada kurva beban B2 seragam sebesar 5202.38 kW. Atau dengan kata lain nilai standar deviasi pada kurva Beban B2 seragam jauh lebih besar daripada nilai standard deviasi pada kurva Beban B1 seragam.

Dari sini dapat kita lihat bahwa parameter standard deviasi inilah yang menyebabkan nilai susut energi pada kurva beban B3 seragam lebih besar daripada kurva beban B1 seragam. Standard deviasi ini menggambarkan total penyimpangan nilai pemakaian energi (P_{out}) setiap jam selama 24 jam dari nilai rata-rata pemakain (P_{out}). Untuk memperkuat pernyataan terkait standard deviasi bisa dijadikan parameter yang mempengaruhi susut energi total selama satu hari

berikut digambarkan perbandingan kurva Pin beban tidak seragam $B1 < B2$ dan kurva Pin beban tidak seragam $B1 > B2$.



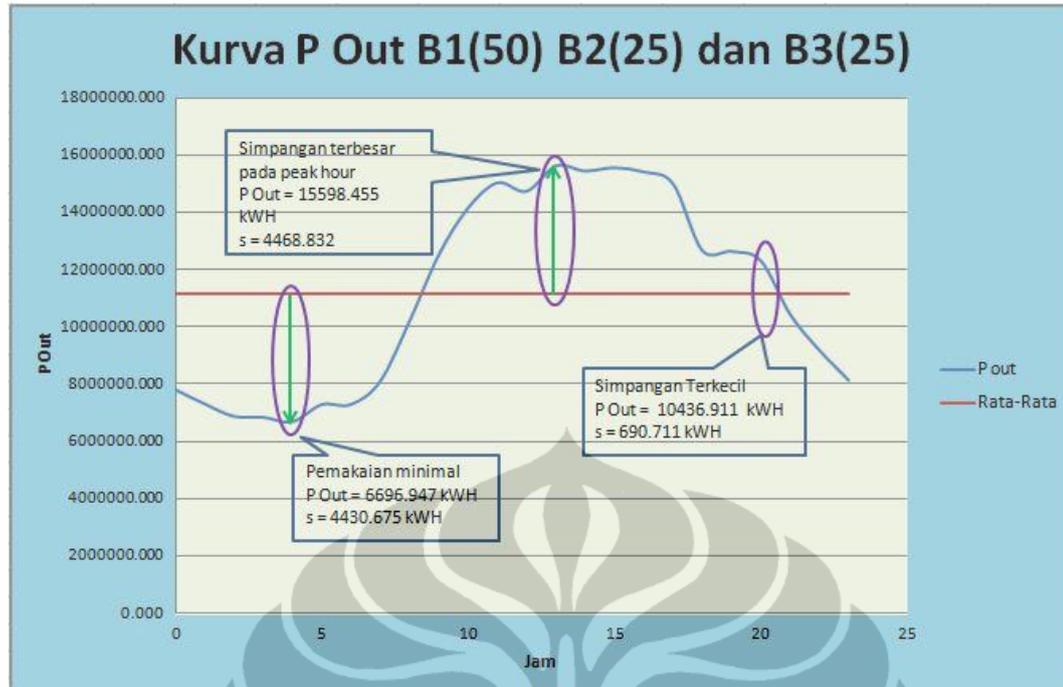
Kurva 4. 19 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam ($B1 > B2$)



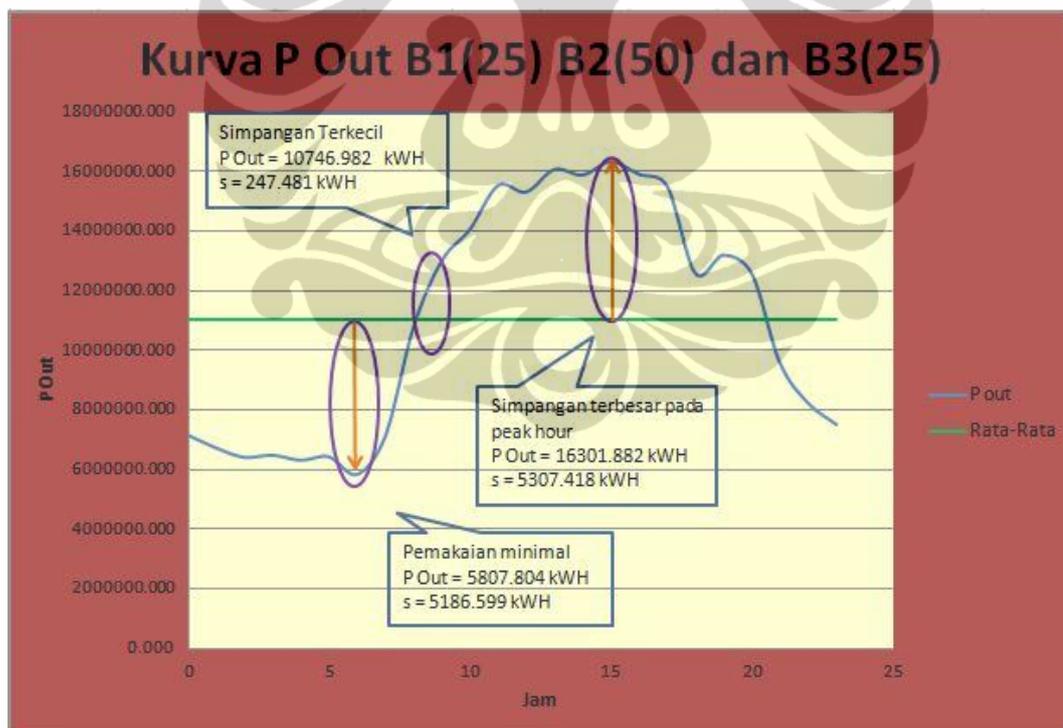
Kurva 4. 20 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam ($B1 < B2$)

Merujuk kepada tabel dan kurva P_{out} beban tidak seragam $B1 < B2$ dan kurva P_{out} beban tidak seragam $B1 > B2$ dapat dilihat bahwa total pemakaian energi listrik (P_{out}) selama sehari beban tidak seragam $B1 > B2$ yaitu sebesar 322003.05 kW lebih besar dari pada pemakaian energi listrik (P_{out}) selama sehari beban tidak seragam $B1 < B2$ yaitu sebesar 316898.82 kW. Sedangkan total susut energi pada beban tidak seragam $B1 < B2$ lebih besar daripada beban tidak seragam $B1 > B2$ yaitu sebesar 1.672% sedangkan untuk beban tidak seragam $B1 < B2$ hanya sebesar 1.633% walaupun pemakaian energi listrik (P_{out}) total selama satu hari jauh lebih kecil. Namun, dari kurva beban keduanya kita juga dapat melihat bahwa besar simpangan total pada beban tidak seragam $B1 < B2$ jauh lebih besar daripada beban tidak seragam $B1 > B2$. Kondisi ini terlihat dari besarnya standard deviasi beban tidakseragam $B1 < B2$ sebesar 4489.68 kW dan standard deviasi beban tidak seragam $B1 > B2$ yang hanya sebesar 3549.22 kW.

Dari kurva Pin kedua kombinasi tersebut terlihat juga kurva beban tidak seragam $B1 < B2$ lebih fluktuatif dari pada kurva beban tidak seragam $B1 > B2$. Atau dengan kata lain tingkat kenaikan dan penurunan pemakaian saat menuju dan setelah waktu beban puncak dari beban tidak seragam lebih signifikan. Dari sini kita dapat melihat bahwa bentuk kurva yang fluktuatif membuat susut energi total selama satu hari lebih besar. Bentuk fluktuatif atau tidaknya suatu kurva beban dapat dilihat dari total penyimpangan data sela 24 jam dari rata-rata atau standar deviasi pada pemakain total kurva tersebut. Untuk melihat pengaruh yang lebih signifikan dari total penyimpangan terhadap rata-rata pemakaian (standard deviasi) digunakan perbandingan dua jenis kombinasi yang secara total pemakaian energi listrik (P_{out}) selama satu hari tidak terlalu jauh. Kombinasi yang mewakili kondisi tersebut adalah kombinasi beban tidak seragam $B2$ dominan $B1$ $B3$ sama besar dan beban tidak seragam $B3$ dominan $B1$ $B2$ sama besar. Berikut ditampilkan kurva beban (P_{out}) kedua jenis kombinasi tersebut selama 24 jam.



Kurva 4. 21 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam (B1 Dominan B2=B3)



Kurva 4. 22 Kurva Simpangan Beban Tidak Seragam (B2 Dominan B1=B3)

Kedua jenis kombinasi ini memiliki tingkat konsumisi energi listrik (P_{in}) total selama satu hari yang tidak jauh berbeda, 267062.95 kW untuk beban tidak seragam B1 dominan dan 263867.13 kW untuk beban tidak seragam B2

dominan. Namun, untuk susut energi total selama satu hari beban tidak seragam B2 dominan lebih besar yaitu **1.407 %** dibandingkan dengan susut energi total pada kombinasi total beban tidak seragam B1 dominan yaitu sebesar **1.379 %**.

Kedua jenis kombinasi ini memiliki simpangan total dari rata-rata (standard deviasi) yang berbeda, 3423.35 kW untuk beban tidak seragam B1 dominan dan 3986.75 kW untuk komposisi beban B2 dominan. Dari sini dapat terlihat bahwa nilai standard deviasi pada beban tidak seragam B2 dominan lebih besar daripada beban tidak seragam B1 dominan. Kondisi ini yang menyebabkan tingkat susut energi total kombinasi beban tidak seragam B2 dominan lebih besar daripada kombinasi beban B1 dominan. Secara sekilas juga dapat melihat kesimpulan ini dari bentuk kurva beban B2 dominan yang sedikit lebih fluktuatif.

Untuk melihat tingkat komposisi pembebanan yang paling ideal dari ke 16 jenis kombinasi, dianalisa komposisi pembebanan yang menghasilkan susut energi dan efisiensi jaringan yang menghasilkan susut energi terkecil dan efisiensi jaringan terkecil. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa kombinasi Beban B3 Seragam menghasilkan nilai susut energi terendah yaitu **0.685%**. Beban B3 Seragam menghasilkan susut energi terendah dikarenakan total pelanggan pada beban B3 Seragam paling sedikit dibandingkan dengan beban B1 dan B2, ditambah juga kapasitas sistem yang terpasang untuk beban B3 jauh lebih besar daripada tingkat pemakaian energi listrik pada beban jenis B3 seragam. Kondisi total susut energi yang jauh lebih kecil dari beban yang lain juga terlihat pada komposisi beban 2 jenis ($B1 < B3$ dan $B2 < B3$) dan juga pada komposisi 3 jenis beban B3 Dominan. Kondisi ini belum dapat dikatakan komposisi beban yang ideal dikarenakan jumlah pelanggan yang sedikit ini yang menyebabkan beban B3 sulit untuk dibandingkan dengan jenis beban yang lainnya.

Untuk mendapatkan jenis komposisi pembebanan paling ideal digunakan metode rata-rata nilai susut energi dan efisiensi jaringan pada jenis kombinasi satu jenis beban, 2 jenis beban, dan 3 jenis beban. Metode ini digunakan agar dalam membandingkan tidak besar atau kecil sebelah. Dari hasil perhitungan didapat untuk kombinasi 1 jenis beban akan menghasilkan susut energi terbesar yaitu sebesar **1.339 %** dan kombinasi 3 jenis beban menghasilkan susut energi yang

paling kecil yaitu sebesar **1.308%**. Dan pada kombinasi 3 jenis beban ini komposisi pembebanan yang menghasilkan susut energi terkecil terjadi ketika komposisi beban B3 lebih dominan dari B1 dan B2.

Melihat fakta dari keenam belas jenis kombinasi beban tersebut, dapat ditarik suatu benang merah dimana tingkat susut energi total selama satu tidak hanya bergantung dari total pemakaian (P_{out}) energi listrik, namun ini juga bergantung kepada variasi bentuk kurva atau perilaku konsumsi dari pelanggan juga yang dilambangkan dengan standard deviasi dari kurva beban tersebut. Semakin fluktuatif atau semakin ekstrim kenaikan atau penurunan tingkat pemakaian energi listrik pada saat menuju waktu beban puncak atau setelah waktu beban puncak, maka akan menyebabkan nilai susut energi menjadi lebih besar. Jadi, pada kapasitas sistem terpasang yang sama perilaku pemakaian ini akan menyebabkan semakin besarnya susut energi yang semakin besar pada saluran distribusi tegangan rendah.

Dari hasil perhitungan juga dapat dilihat jenis kombinasi beban paling ideal pada konsumen. Kombinasi 3 jenis pelanggan B1 B2 dan B3 ini merupakan jenis kombinasi paling ideal berdasarkan penghitungan karena karakteristik kombinasi ketiga jenis beban ini menghasilkan standar deviasi yang tidak terlalu besar sehingga membuat susut energi total pada jaringan distribusi tegangan rendah bernilai tidak terlalu besar.

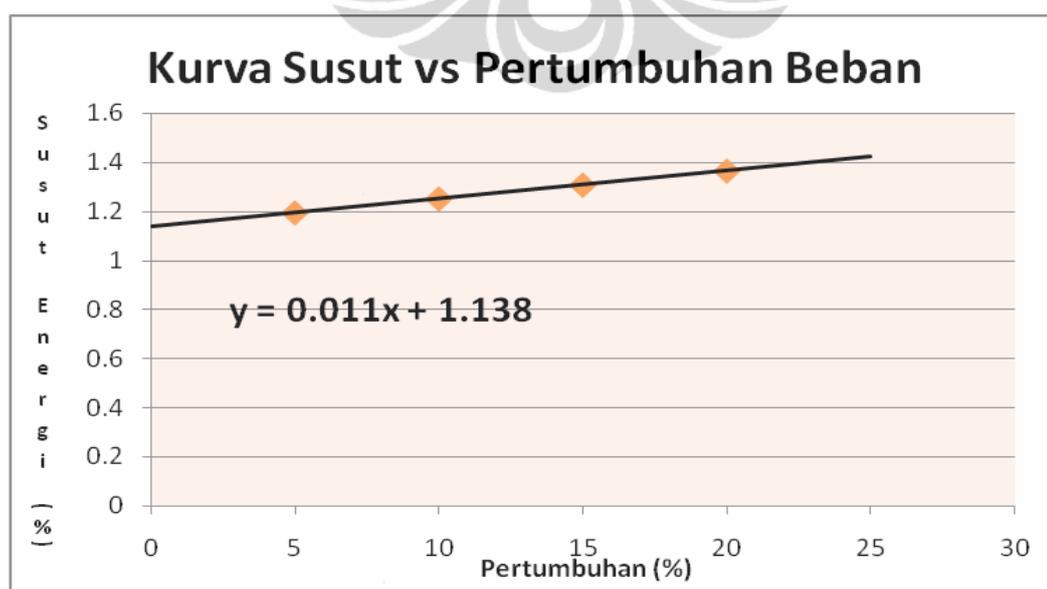
Untuk menanggulangi susut energi yang disebabkan tingkat fluktuasi ini ada baiknya ditanggulangi bukan hanya dengan meningkatkan kapasitas sistem, namun dengan melakukan manajemen beban seperti melakukan pemindahan pemakaian daya listrik yang tidak kritis (kurang penting/kurang mendesak) dari beban puncak ke luar beban puncak, membuang beban (pemakaian daya listrik) yang tidak penting selama beban puncak, memasang alat koreksi faktor daya pada jenis pelanggan berdaya listrik besar (B3) dan menghimbau pelanggan berdaya listrik cukup besar (B2 dan B3) untuk menggunakan pembangkit daya listrik ditempat (mesin diesel atau genset) pada saat waktu beban puncak. Dengan begini tingkat susut energi dapat dikurangi tanpa harus melakukan penambahan kapasitas sistem yang sangat membutuhkan biaya yang sangat banyak.

4.3.3 Pertumbuhan Beban Ideal

Dari hasil perhitungan dan analisa di atas didapatkan komposisi beban yang menghasilkan susut energi terkecil dan efisiensi jaringan terbesar yaitu jenis komposisi 3 jenis beban, beban B3 dominan B1 dan B2 sama besar. Komposisi ini dijadikan dapat dikatakan ideal karena memiliki tingkat pemakaian energi yang tidak terlalu besar dan menghasilkan bentuk kurva yang cukup landai (standar deviasi kecil). Dari sini dicoba dilihat pengaruh dari perkembangan beban ideal tersebut terhadap susut energi yang terjadi pada jaringan. Untuk melihat bentuk tren pengaruh perubahan tersebut diberikan variasi pertumbuhan sebesar 5% dan 20% yang berikutnya dihitung nilai susut energi yang terjadi. Berikut diberikan hasil perhitungan susut energi terhadap pertumbuhan beban tersebut.

Tabel 4. 8 Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Susut Energi

No	Pertumbuhan (%)	Susut Energi (%)
1	5	1.195
2	10	1.252
3	15	1.308
4	20	1.365



Kurva 4. 23 Kurva Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Susut Energi

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa pertumbuhan beban akan diikuti oleh kenaikan nilai susut energi yang terjadi. Kondisi ini dikarenakan pertumbuhan beban ini merepresentasikan akan kebutuhan energi listrik beban bisnis. Dalam melakukan penganalisaan hubungan pertumbuhan beban terhadap susut energi yang terjadi digunakan metode regresi linier. Dengan metode tersebut akan didapatkan fungsi susut energi terhadap pertumbuhan beban saat kapasitas yang terpasang pada sistem tetap seperti yang terlihat pada kurva yaitu dengan persamaan $y = 0.011x + 1.138$.

Fungsi ini juga dapat digunakan sebagai peramalan (*forecast*) susut energi ketika pertumbuhan melebihi sampel yang diambil yaitu 20%. Dengan fungsi ini dimungkinkan untuk mengantisipasi bertumbuhnya nilai susut energi akibat pertumbuhan pada beban. Sehingga dengan ini kita dapat meramal saat kapan kapasitas sistem harus di naikkan untuk mengantisipasi nilai susut energi ini.

BAB V

KESIMPULAN

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

1. Untuk semua jenis kombinasi pelanggan, baik seragam maupun tidak seragam nilai susut terbesar terjadi pada jam 10.00 sampai 17.00, sesuai dengan perilaku pelanggan bisnis.
2. Konfigurasi jaringan yang menghasilkan nilai susut terbesar terjadi pada jenis beban dengan kombinasi 1 jenis seragam. (B1 100%, B2 100% dan B3 100%) yaitu sebesar **1.339%**
3. Konfigurasi jaringan yang paling ideal dilihat dari kecilnya nilai susut adalah beban yang terpasang merupakan jenis pelanggan dengan kombinasi tidak seragam, dengan komposisi B1 25%, B2 25% dan B3 50% yaitu sebesar **1.138%**.
4. Hubungan yang menggambarkan pengaruh besarnya pemakaian energi listrik terhadap susut energi yang terjadi di jaringan digambarkan melalui regresi linier dengan persamaan $y = 0.024x - 108.9$
5. Susut energi dan Efisiensi jaringan ditentukan besarnya bukan hanya dari total pemakaian energi listrik tetapi ditentukan juga dari bentuk kurva beban. Kenaikan yang curam akan menghasilkan susut lebih besar daripada yang lebih landai.
6. Bentuk landai atau cuam suatu kurva beban dapat dilihat dari total simpangan kurva tersebut terhadap rata-rata. (Standard Deviasi)

DAFTAR ACUAN

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

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Persen Pembebanan Kombinasi Beban Pelanggan Sektor Bisnis.

Kombinasi 1 Jenis dan 3 Jenis Beban Pelanggan Bisnis

Jam	B1	B2	B3	B1 Dominan	B2 Dominan	B3 Dominan	B1 = B2 = B3
00.00	0.162	0.121	0.020	0.116	0.106	0.080	0.101
01.00	0.151	0.114	0.019	0.109	0.099	0.076	0.094
02.00	0.140	0.110	0.018	0.102	0.095	0.072	0.089
03.00	0.137	0.114	0.018	0.102	0.096	0.072	0.090
04.00	0.135	0.110	0.018	0.099	0.093	0.070	0.087
05.00	0.156	0.103	0.017	0.108	0.095	0.073	0.092
06.00	0.167	0.078	0.021	0.108	0.086	0.072	0.089
07.00	0.167	0.107	0.040	0.120	0.105	0.089	0.105
08.00	0.172	0.206	0.056	0.152	0.160	0.122	0.145
09.00	0.213	0.241	0.079	0.187	0.194	0.153	0.178
10.00	0.248	0.241	0.108	0.211	0.210	0.176	0.199
11.00	0.251	0.281	0.117	0.225	0.232	0.191	0.216
12.00	0.242	0.277	0.119	0.220	0.229	0.189	0.213
13.00	0.264	0.291	0.115	0.234	0.240	0.196	0.223
14.00	0.261	0.288	0.113	0.231	0.237	0.194	0.221
15.00	0.259	0.305	0.108	0.233	0.244	0.195	0.224
16.00	0.261	0.291	0.108	0.230	0.238	0.192	0.220
17.00	0.253	0.284	0.106	0.224	0.232	0.187	0.214
18.00	0.226	0.220	0.083	0.189	0.187	0.153	0.176
19.00	0.215	0.249	0.074	0.188	0.197	0.153	0.179
20.00	0.215	0.231	0.072	0.183	0.187	0.148	0.173
21.00	0.213	0.160	0.036	0.155	0.142	0.111	0.136
22.00	0.194	0.135	0.023	0.137	0.122	0.094	0.117
23.00	0.167	0.128	0.022	0.121	0.111	0.084	0.105

Kombinasi 2 Jenis Beban Pelanggan Bisnis

Jam	B1> B2	B1< B2	B1= B2	B2> B3	B2< B3	B2= B3	B1> B3	B1< B3	B1= B3
00.00	0.149	0.133	0.141	0.090	0.050	0.070	0.119	0.062	0.091
01.00	0.140	0.125	0.132	0.085	0.047	0.066	0.111	0.058	0.085
02.00	0.131	0.119	0.125	0.082	0.046	0.064	0.103	0.055	0.079
03.00	0.130	0.121	0.126	0.085	0.047	0.066	0.102	0.054	0.078
04.00	0.127	0.117	0.122	0.082	0.045	0.064	0.100	0.053	0.076
05.00	0.140	0.119	0.130	0.077	0.043	0.060	0.114	0.059	0.087
06.00	0.140	0.105	0.123	0.061	0.038	0.049	0.123	0.065	0.094
07.00	0.149	0.125	0.137	0.087	0.060	0.073	0.129	0.078	0.104
08.00	0.182	0.196	0.189	0.161	0.101	0.131	0.137	0.091	0.114
09.00	0.221	0.233	0.227	0.193	0.128	0.160	0.173	0.119	0.146
10.00	0.246	0.243	0.245	0.201	0.148	0.175	0.206	0.150	0.178
11.00	0.260	0.272	0.266	0.231	0.166	0.199	0.210	0.157	0.184
12.00	0.253	0.267	0.260	0.229	0.166	0.198	0.205	0.156	0.180
13.00	0.272	0.283	0.278	0.238	0.168	0.203	0.219	0.160	0.189
14.00	0.269	0.280	0.274	0.235	0.165	0.200	0.217	0.158	0.187
15.00	0.273	0.291	0.282	0.246	0.167	0.207	0.213	0.153	0.183
16.00	0.270	0.282	0.276	0.236	0.163	0.199	0.215	0.154	0.184
17.00	0.262	0.275	0.269	0.231	0.159	0.195	0.209	0.150	0.180
18.00	0.224	0.222	0.223	0.179	0.124	0.151	0.183	0.126	0.154
19.00	0.225	0.239	0.232	0.196	0.126	0.161	0.173	0.116	0.145
20.00	0.220	0.226	0.223	0.183	0.120	0.151	0.172	0.115	0.144
21.00	0.197	0.176	0.186	0.123	0.073	0.098	0.160	0.089	0.124
22.00	0.176	0.153	0.164	0.101	0.057	0.079	0.143	0.075	0.109
23.00	0.155	0.140	0.147	0.096	0.053	0.075	0.123	0.065	0.094

LAMPIRAN 2

Data Hasil Penghitungan Nilai I_{pp} dan P_{in} Pada Beban Seragam.

Jam	I _{pp} (Ampere)			P _{in} (kW)		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
0	19588.69	14634.29	2394.26	10989.26	8209.84	1343.18
1	18282.78	13773.45	2285.43	10256.64	7726.90	1282.12
2	16976.87	13343.03	2176.60	9524.02	7485.44	1221.07
3	16650.39	13773.45	2176.60	9340.87	7726.90	1221.07
4	16323.91	13343.03	2122.18	9157.71	7485.44	1190.54
5	18935.74	12482.19	2067.77	10622.95	7002.51	1160.02
6	20241.65	9469.25	2503.09	11355.57	5312.25	1404.23
7	20241.65	12912.61	4897.34	11355.57	7243.97	2747.41
8	20894.61	24964.38	6747.45	11721.87	14005.01	3785.32
9	25791.78	29268.58	9577.03	14469.19	16419.67	5372.71
10	30036.00	29268.58	13059.58	16850.20	16419.67	7326.42
11	30362.48	34003.20	14147.88	17033.35	19075.80	7936.96
12	29383.04	33572.78	14365.54	16483.89	18834.33	8059.07
13	31994.87	35294.46	13930.22	17949.12	19800.19	7814.85
14	31668.39	34864.04	13712.56	17765.97	19558.73	7692.75
15	31341.91	37016.14	13059.58	17582.81	20766.06	7326.42
16	31668.39	35294.46	13037.81	17765.97	19800.19	7314.21
17	30688.95	34433.62	12841.92	17216.50	19317.26	7204.32
18	27424.17	26686.06	10012.35	15384.96	14970.88	5616.93
19	26118.26	30129.42	8924.05	14652.34	16902.60	5006.39
20	26118.26	27977.32	8706.39	14652.34	15695.28	4884.28
21	25791.78	19368.91	4353.19	14469.19	10865.96	2442.14
22	23506.43	16355.97	2829.58	13187.11	9175.70	1587.39
23	20241.65	15495.13	2611.92	11355.57	8692.77	1465.28
Jumlah				331142.96	318493.36	102405.10
Rata-Rata				13797.62	13270.56	4266.88

LAMPIRAN 3

Data Hasil Penghitungan Nilai I_{pp} dan P_{in} Beban Tidak Seragam (B1 dan B2).

Jam	I_{pp} (Ampere)			P_{in} (kW)		
	B1>B2	B1<B2	B1=B2	B1>B2	B1<B2	B1=B2
0	18102.37	16120.61	17111.49	10155.43	9043.66	9599.55
1	16929.98	15126.25	16028.12	9497.72	8485.83	8991.77
2	15886.72	14433.18	15159.95	8912.45	8097.01	8504.73
3	15787.31	14636.53	15211.92	8856.68	8211.09	8533.89
4	15429.65	14237.29	14833.47	8656.03	7987.12	8321.58
5	16999.67	14418.25	15708.96	9536.82	8088.64	8812.73
6	17009.93	12700.97	14855.45	9542.57	7125.24	8333.91
7	18042.94	15111.32	16577.13	10122.09	8477.45	9299.77
8	22115.54	23743.45	22929.49	12406.82	13320.07	12863.44
9	26834.82	28225.54	27530.18	15054.33	15834.53	15444.43
10	29805.77	29498.80	29652.29	16721.04	16548.83	16634.93
11	31454.69	32910.98	32182.84	17646.08	18463.06	18054.57
12	30639.96	32315.86	31477.91	17189.02	18129.20	17659.11
13	32984.75	34304.58	33644.67	18504.44	19244.87	18874.66
14	32627.09	33905.35	33266.22	18303.79	19020.90	18662.35
15	33044.18	35313.87	34179.03	18537.79	19811.08	19174.43
16	32756.21	34206.64	33481.43	18376.23	19189.93	18783.08
17	31812.36	33310.22	32561.29	17846.73	18687.03	18266.88
18	27202.74	26907.49	27055.11	15260.74	15095.10	15177.92
19	27321.61	28926.07	28123.84	15327.42	16227.53	15777.47
20	26675.98	27419.60	27047.79	14965.22	15382.40	15173.81
21	23864.92	21295.77	22580.35	13388.22	11946.93	12667.57
22	21361.29	18501.11	19931.20	11983.69	10379.12	11181.40
23	18817.69	16919.09	17868.39	10556.73	9491.61	10024.17
Jumlah				327348.08	322288.24	324818.16
Rata-Rata				13639.50	13428.68	13534.09

LAMPIRAN 4

Data Hasil Penghitungan Nilai I_{pp} dan P_{in} Beban Tidak Seragam (B2 dan B3).

Jam	I _{pp} (Ampere)			P _{in} (kW)		
	B2>B3	B2<B3	B2=B3	B2>B3	B2<B3	B2=B3
0	10962.28	6066.27	8514.27	6149.84	3403.18	4776.51
1	10327.04	5731.83	8029.44	5793.47	3215.56	4504.51
2	9993.10	5526.53	7759.81	5606.13	3100.38	4353.25
3	10294.39	5655.65	7975.02	5775.15	3172.82	4473.99
4	9976.77	5488.44	7732.61	5596.97	3079.01	4337.99
5	9357.86	5192.09	7274.98	5249.76	2912.76	4081.26
6	7379.40	4592.93	5986.17	4139.84	2576.64	3358.24
7	10508.03	7301.92	8904.98	5895.00	4096.38	4995.69
8	19499.30	12212.53	15855.91	10939.11	6851.23	8895.17
9	23361.11	15484.49	19422.80	13105.58	8686.80	10896.19
10	24405.88	17922.28	21164.08	13691.70	10054.40	11873.05
11	28046.61	20104.48	24075.54	15734.15	11278.61	13506.38
12	27810.61	20127.71	23969.16	15601.75	11291.65	13446.70
13	28885.19	20339.49	24612.34	16204.59	11410.46	13807.52
14	28518.60	20058.00	24288.30	15998.93	11252.54	13625.74
15	29829.17	20246.55	25037.86	16734.17	11358.31	14046.24
16	28617.47	19714.81	24166.14	16054.40	11060.01	13557.20
17	27956.11	19319.43	23637.77	15683.38	10838.20	13260.79
18	21683.94	15014.46	18349.20	12164.69	8423.11	10293.90
19	23767.81	15285.66	19526.73	13333.74	8575.25	10954.50
20	22196.04	14487.67	18341.85	12451.98	8127.58	10289.78
21	14864.20	8857.91	11861.05	8338.81	4969.29	6654.05
22	12298.05	6887.49	9592.77	6899.21	3863.88	5381.55
23	11630.17	6476.88	9053.52	6524.52	3633.53	5079.03
Jumlah				331142.96	318493.36	102405.10
Rata-Rata				13797.62	13270.56	4266.88

LAMPIRAN 5

Data Hasil Penghitungan Nilai I_{pp} dan P_{in} Beban Tidak Seragam (B1 dan B3).

Jam	I _{pp} (Ampere)			P _{in} (kW)		
	B1>B3	B1<B3	B1=B3	B1>B3	B1<B3	B1=B3
0	14430.36	7552.59	10991.48	8095.43	4237.00	6166.22
1	13483.58	7084.63	10284.10	7564.29	3974.48	5769.38
2	12536.79	6616.68	9576.73	7033.14	3711.96	5372.55
3	12308.25	6518.73	9413.49	6904.93	3657.01	5280.97
4	12063.39	6382.70	9223.05	6767.56	3580.70	5174.13
5	13875.35	7128.16	10501.75	7784.07	3998.90	5891.48
6	14920.08	7824.66	11372.37	8370.17	4389.63	6379.90
7	15638.36	9500.64	12569.50	8773.12	5329.86	7051.49
8	16650.46	10991.60	13821.03	9340.91	6166.29	7753.60
9	20927.35	14441.45	17684.40	11740.25	8101.65	9920.95
10	24943.07	18152.51	21547.79	13993.06	10183.56	12088.31
11	25498.1	19012.26	22255.18	14304.43	10665.88	12485.15
12	24877.79	18870.79	21874.29	13956.44	10586.51	12271.48
13	26575.47	19349.61	22962.54	14908.84	10855.13	12881.99
14	26281.64	19099.31	22690.47	14744.00	10714.71	12729.36
15	25857.21	18544.28	22200.75	14505.90	10403.34	12454.62
16	26079.22	18626.99	22353.10	14630.44	10449.74	12540.09
17	25334.84	18196.03	21765.44	14212.85	10207.97	12210.41
18	22200.62	15235.89	18718.26	12454.55	8547.34	10500.94
19	20960	14082.31	17521.15	11758.56	7900.18	9829.37
20	20894.7	13929.95	17412.32	11721.93	7814.70	9768.31
21	19360.2	10784.77	15072.49	10861.07	6050.26	8455.67
22	17303.38	9032.63	13168.00	9707.19	5067.31	7387.25
23	14952.73	7900.84	11426.78	8388.48	4432.37	6410.43
Jumlah				262521.61	171026.46	216774.03
Rata-Rata				10938.40	7126.10	9032.25

LAMPIRAN 6

Data Hasil Penghitungan Nilai I_{pp} dan P_{in} Beban Tidak Seragam 3 Jenis Beban

Jam	I_{pp} (Ampere)				P_{in} (kW)			
	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi
0	14051.48	12812.88	9752.87	12205.75	7882	7188.03	5471.36	6847.42
1	13156.11	12028.78	9156.77	11447.22	7380.58	6748.14	5136.95	6421.89
2	12368.34	11459.88	8668.27	10832.16	6938.64	6428.99	4862.90	6076.84
3	12312.71	11593.47	8694.26	10866.81	6907.43	6503.94	4877.48	6096.28
4	12028.26	11283.04	8477.83	10596.37	6747.85	6329.78	4756.06	5944.57
5	13105.36	11491.97	8888.37	11161.90	7352.11	6447.00	4986.37	6261.82
6	13113.91	10420.81	8679.27	10737.99	7356.90	5846.07	4869.07	6024.01
7	14573.31	12741	10737.24	12683.87	8175.63	7147.73	6023.59	7115.65
8	18375.26	19392.70	14838.47	17535.48	10308.52	10879.31	8324.38	9837.40
9	22607.29	23476.49	18553.60	21545.80	12682.69	13170.31	10408.57	12087.19
10	25600.04	25408.18	21355.93	24121.39	14361.62	14253.99	11980.68	13532.10
11	27219.01	28129.19	23165.36	26171.19	15269.86	15780.48	12995.77	14682.04
12	26676.10	27723.54	22921.73	25773.79	14965.29	15552.90	12859.09	14459.09
13	28303.60	29128.50	23787.44	27073.18	15878.32	16341.09	13344.76	15188.06
14	27978.35	28777.26	23489.39	26748.33	15695.85	16144.04	13177.55	15005.81
15	28189.89	29608.44	23619.30	27139.21	15814.53	16610.34	13250.43	15225.10
16	27917.26	28823.78	23259.62	26666.89	15661.59	16170.14	13048.65	14960.12
17	27163.36	28099.53	22701.60	25988.17	15238.65	15763.84	12735.60	14579.36
18	22886.69	22702.16	18533.73	21374.19	12839.43	12735.91	10397.42	11990.92
19	22822.50	23825.29	18523.94	21723.91	12803.42	13365.99	10391.93	12187.11
20	22230.06	22694.82	17877.09	20933.99	12471.06	12731.79	10029.05	11743.97
21	18826.42	17220.70	13466.77	16504.63	10561.62	9660.81	7554.86	9259.10
22	16549.60	14761.99	11380.39	14230.66	9284.33	8281.48	6384.40	7983.40
23	14647.59	13460.96	10240.15	12782.90	8217.30	7551.60	5744.73	7171.21
Jumlah					262521.61	171026.46	216774.03	
Rata-Rata					10938.40	7126.10	9032.25	

LAMPIRAN 7

Tabel Resistansi Kabel (PUIL 2000)

Luas penampang nominal mm ²	Jumlah minimum kawat	Berlapis logam		Polos		Aluminium	
		Inti tunggal	Inti banyak	Inti tunggal	Inti banyak	Inti tunggal	Inti banyak
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km	ohm/km
1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	1	36,0	36,7	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	13,80	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

Rumus menghitung resistans pada suhu t :

$$R_t = R_{20} \times \frac{234,5 + t}{254,5} \times \frac{L}{1000} \text{ untuk tembaga}$$

$$R_t = R_{20} \times \frac{228 + t}{248} \times \frac{L}{1000} \text{ untuk aluminium}$$

dimana R_t = resistans L meter kabel pada suhu t derajat C, dalam ohm
 R_{20} = resistans pada 20 derajat C, dalam ohm/km
 t = suhu penghantar, dalam derajat C
 L = panjang penghantar, dalam m

