



TUGAS AKHIR - EE 184801

**ANALISIS PENGARUH *UPRATING* TRANSFORMATOR
TERHADAP NILAI SUSUT DAYA DI PT. PLN ULP
INDRAPURA**

M.A. Fernando Napitupulu
NRP 0711154000019

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TE 184801

**ANALISIS PENGARUH *UPRATING* TRANSFORMATOR
TERHADAP NILAI SUSUT DAYA DI PT. PLN ULP
INDRAPURA**

M.A. Fernando Napitupulu
NRP 0711154000019

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

***ANALYSIS OF UPRATING TRANSFORMER IMPACT FOR
POWER LOSSES IN PT. PLN ULP INDRAPURA***

M.A. Fernando Napitupulu
NRP 0711154000019

Supervisor
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**ANALISIS PENGARUH UPRATING TRANSFORMATOR TERHADAP NILAI SUSUT DAYA DI PT. PLN ULP INDRAPURA**" adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, 27 Mei 2019



M.A. Fernando Napitupulu
NRP. 0711144000101

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

**ANALISIS PENGARUH UPRATING
TRANSFORMATOR TERHADAP NILAI SUSUT
DAYA DI PT. PLN ULP INDRAPURA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing 1



Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.

NIP : 198811082012121001

Dosen Pembimbing 2



Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP : 197411292000121001



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

ANALISIS PENGARUH *UPRATING* TRANSFORMATOR TERHADAP NILAI SUSUT DAYA DI PT. PLN ULP INDRAPURA

Nama : M.A. Fernando Napitupulu
Pembimbing 1 : Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT.
Pembimbing 2 : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

ABSTRAK

Sepanjang tahun 2018, PT PLN ULP Indrapura telah melakukan penggantian transformator pada gardu distribusi sebanyak 88 buah, 44 diantaranya dilakukan peningkatan kapasitas daya (*uprating*) transformator. *Uprating* transformator pada dasarnya dilakukan untuk mencegah terjadinya *overload*, sehingga gangguan pada sistem distribusi dapat dihindari dan susut daya pada transformator dapat dikurangi. Namun jika *uprating* transformator dilakukan tanpa perhitungan dan perencanaan yang tepat, justru dapat meningkatkan susut daya transformator pada gardu distribusi.

Uprating transformator yang telah dilakukan di PT PLN ULP Indrapura perlu dikaji kembali untuk mengetahui perubahan susut yang disebabkan oleh *uprating* transformator pada gardu distribusi. Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian mengenai aplikasi perhitungan susut transformator pada gardu distribusi AA 233, AA 235, AA 249 dan AA 449.

Perhitungan susut daya dilakukan dengan metode *Energi Load Flow*, *Loss Factor Analysis* dan simulasi *Load Flow* pada Digsilent Power Factory 15.1. Dengan menggunakan metode tersebut dapat diperoleh susut daya sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator. Susut transformator tersebut selanjutnya digunakan untuk mengestimasi kapasitas daya transformator yang tepat pada gardu distribusi.

Hasil perhitungan susut transformator dengan ketiga metode yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan susut daya setelah dilakukan *uprating* transformator. Semakin rendah beban setelah *uprating* transformator, semakin besar peningkatan susut daya yang terjadi.

Kondisi *underload* pada transformator dapat dihindari dengan menurunkan kapasitas daya transformator. Hasil estimasi kapasitas transformator menunjukkan dengan menurunkan kapasitas transformator pada masing-masing gardu distribusi, dapat menurunkan susut daya.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *uprating* transformator yang terlalu besar pada gardu distribusi dapat meningkatkan susut daya.

Kata kunci: *Uprating*, Perhitungan susut, Kapasitas Daya

ANALYSIS OF UPGRADING TRANSFORMER IMPACT FOR POWER LOSSES IN PT. PLN ULP INDRAPURA

Name : M.A. Fernando Napitupulu
Supervisor 1 : Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT.
Supervisor 2 : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

ABSTRACT

Throughout 2018, PT PLN ULP Indrapura has replaced the transformer at 88 distribution substations, 44 of which are carried out by upgrading the transformer capacity. Upgrading transformers are basically done to prevent overload, so that interference with the distribution system can be avoided and the power losses in the transformer can be reduced. But if the upgrading transformer is done without proper calculation and planning, it can actually increase the transformer power losses in the distribution substation.

Upgrading the transformer that has been carried out at PT PLN ULP Indrapura needs to be reviewed to find out the changes in power losses caused by upgrading the transformer at the distribution substation. In this final assignment, a study will be conducted on the application of transformer power losses calculation at AA 233, AA 235, AA 249 and AA 449 distribution substations.

Calculation of power losses is done by the method of Energy Load Flow, Loss Factor Analysis and Load Flow simulation on Digsilent Power Factory 15.1. Using this method can be obtained before and after upgrading the transformer. The transformer power shrinkage is then used to estimate the transformer power capacity that is right at the distribution substation.

The calculation results of transformer power losses with the three methods that have been carried out show that there is an increase in power losses after upgrading the transformer. The lower the load after upgrading the transformer, the greater the increase in power losses that occur.

Underload conditions on the transformer can be avoided by reducing the transformer power capacity. The results of the transformer capacity estimation show that by reducing the transformer capacity at each distribution substation, it can reduce power losses.

From the results of this study it can be concluded that uprating transformers that are too large in the distribution substations can increase power losses.

Kata kunci: Uprating, Calculation of Power Loss, Power Capacity

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat-Nya, penelitian dan penulisan tugas akhir dengan judul **ANALISIS PENGARUH *UPRATING* TRANSFORMATOR TERHADAP NILAI SUSUT DAYA DI PT. PLN ULP INDRAPURA** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Selama melaksanakan tugas akhir ini baik saat melakukan Pengukuran beban di PHBTR, simulasi program maupun penyusunan buku tugas akhir ini banyak kendala, hambatan, dan rintangan yang penulis alami. Akan tetapi banyak pihak yang telah membantu penulis untuk menghadapi semua rintang tersebut. Tanpa dukungan mereka, sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Dan kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih, diantaranya:

1. Kepada kedua Orang tua tercinta, adik-adik kandung dan seluruh anggota keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT. dan Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT. selaku dosen pembimbing I dan II, yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen-dosen Departemen Teknik Elektro, yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Bapak Donna Chandra W W, selaku manager PT PLN ULP Indrapura yang telah banyak membantu dalam perizinan dan fasilitas selama pengambilan data.
5. Seluruh Karyawan dan Tim YANTEK PLN ULP Indrapura, yang telah membantu melakukan pengambilan data.
6. Seluruh asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga yang telah banyak membantu penulis untuk mengerjakan seluruh tugas akhir.
7. Seluruh anggota ‘Rumah Yudas’ yang selalu menyemangati penulis (Ricky, Sumihar, Angga, Petra, Hebron)
8. Teman-teman NHKBP Manyar yang selalu menyemangati dan selalu mendoakan penulis (Bg Wira, Angga, Dwiki, Grace, Kezia, Marintan, Ricky, Christian, Weni, Kak Enny, Bang Teguh, Bg Heru, Bang Louis)

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna dan masih banyak hal yang harus diperbaiki. Saran, kritik dan masukan baik dari seluruh pihak sangatlah membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut, terima kasih.

Surabaya, 27 Mei 2019

M.A. Fernando Napitupulu

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 PENGARUH UPRATING TRANSFORMATOR TERHADAP SUSUT DAYA.....	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 Transformator	7
2.2.1 Bagian – Bagian Transformator	8
2.2.2 Prinsip Kerja Transformator.....	10
2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Transformator	10
2.2.4 Jenis – Jenis Transformator.....	12
2.3 Transformator Distribusi	12
2.4 Pembebanan Transformator.....	15
2.4.1 Klasifikasi Beban Transformator	15
2.4.2 Kondisi Pembebanan Transformator	16
2.4.3 Karakteristik Beban Transformator	17
2.4.4 Pertumbuhan Beban Transformator.....	20
2.5 Susut Transformator	21
2.5.1 Jenis – Jenis Susut Transformator	21
2.5.2 Metode Perhitungan Susut Energi Transformator	24
2.5.3 Efisiensi Transformator.....	26
2.6 Analisis Aliran Daya	26
2.6.1 Pendahuluan	26
2.6.2 Analisis Aliran Daya dengan Digsilent Power Factory 15.1	27
BAB 3 RANCANGAN PENELITIAN.....	29

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	29
3.2 Alur Penelitian.....	31
3.2.1 Survey Lapangan dan Pendataan Gardu.....	32
3.2.2 Pengukuran Beban Transformator.....	37
3.2.3 Perhitungan Susut Transformator.....	38
3.2.4 Simulasi Aliran Daya Digsilent Power Factory 15.1 ..	39
3.2.5 Analisis Susut Transformator.....	40
3.2.6 Menentukan Kapasitas Transformator.....	40
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA.....	43
4.1 Hasil Pengukuran Beban Transformator.....	43
4.2 Hasil Perhitungan Susut Transformator.....	52
4.2.1 Metode <i>Energy Load Flow</i>	52
4.2.2 Metode <i>Loss Factor</i>	54
4.2.3 Simulasi <i>Load Flow</i> Digsilent.....	55
4.3 Perbandingan dan Pembahasan Metode Perhitungan Susut Transformator.....	56
4.4 Estimasi Kapasitas Daya Transformator.....	58
BAB 5 PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	65
BIOGRAFI PENULIS.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian – bagian Transformator.....	8
Gambar 2.2	Inti Besi Transformator.....	9
Gambar 2.3	Belitan Transformator.....	9
Gambar 2.4	Rangkaian Ekivalen Transformator.....	11
Gambar 2.5	Gardu Cantol.....	13
Gambar 2.6	Gardu Portal.....	14
Gambar 2.7	Gardu beton.....	15
Gambar 2.8	Kurva Beban dan Susut Transformator	17
Gambar 2.9	Kurva Beban Transformator Distribusi	18
Gambar 2.10	Rangkaian Transformator Tanpa Beban	23
Gambar 2.11	Skema Susut Transformator	24
Gambar 3.1	Peta Wilayah Kerja ULP Indrapura.....	30
Gambar 3.2	Diagram Blok Penelitian.....	31
Gambar 3.3	Diagram Blok Simulasi <i>Load Flow</i>	32
Gambar 3.4	<i>Clamp On Power HiTESTER</i>	38
Gambar 4.1	Kurva Beban Harian, Senin 04/03/19.....	49
Gambar 4.2	Kurva Beban Harian, Selasa 05/03/19	49
Gambar 4.3	Kurva Beban Harian, Rabu 06/03/19	50
Gambar 4.4	Kurva Beban Harian, Kamis 07/03/19	50
Gambar 4.5	Kurva Beban Harian, Jumat 08/03/19	50
Gambar 4.6	Kurva Beban Harian, Sabtu 09/03/19.....	51
Gambar 4.7	Kurva Beban Harian, Minggu 10/03/19	51

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan Umum <i>Loss Factor</i>	25
Tabel 3.1 Data <i>Upating</i> Tranformator.....	33
Tabel 3.2 Data <i>Upating</i> Tranformator Lebih dari Satu Tingkat	35
Tabel 3.3 Data Tranformator AA 233	36
Tabel 3.4 Data Tranformator AA 235	36
Tabel 3.5 Data Tranformator AA 249	37
Tabel 3.6 Data Tranformator AA 449	39
Tabel 3.7 Susut Tranformator Distribusi.....	37
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Beban Tranformator AA 233 dan AA 235.....	43
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Beban Tranformator AA 249 dan AA 449.....	46
Tabel 4.3 Pembebanan Tranformator Uji	52
Tabel 4.4 Data Susut setelah <i>Upating</i> Tranformator	53
Tabel 4.5 Data Susut Sebelum <i>Upating</i> Tranformator	53
Tabel 4.6 Susut Energi Tranformator dengan Metode <i>Energy Load Flow</i>	54
Tabel 4.7 <i>Load Factor</i> dan <i>Loss Factor</i>	55
Tabel 4.8 Susut Energi Tranformator dengan Metode <i>Loss Factor</i>	55
Tabel 4.9 Susut Energi Tranformator dengan Simulasi Load Flow Digsilent Power Factory 15.1	56
Tabel 4.10 Perbandingan Susut sebelum dan setelah <i>Upating</i> Tranformator	56
Tabel 4.11 Persentase Perbandingan Susut sebelum dan setelah <i>Upating</i> Tranformator	56
Tabel 4.12 Perbandingan Metode perhitungan susut Tranformator (sebelum <i>upating</i>).....	57
Tabel 4.13 Perbandingan Metode perhitungan susut Tranformator (setelah <i>upating</i>).....	57
Tabel 4.14 Kapasitas Tranformator Berdasarkan Beban Aktual	58
Tabel 4.15 Kapasitas Tranformator Berdasarkan Beban Ramalan	59
Tabel 4.16 Aliran Energi dan Susut Energi Tranformator berdasarkan Kondisi Beban	59
Tabel 4.17 Perbandingan Susut Energi pada kapasitas Aktual dengan kapasitas Estimasi	60

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. PLN ULP INDRAPURA sedang gencar melakukan penggantian transformator distribusi. Sejak Januari 2018 sampai dengan Desember 2018 terdapat 88 transformator yang telah diganti. Dari 88 transformator tersebut, 50% transformator mengalami peningkatan kapasitas (*uprating*), 36% transformator diganti dengan kapasitas yang sama dan 14% transformator mengalami penurunan kapasitas (*derating*).[1]

Uprating transformator pada dasarnya dilakukan dengan tujuan mencegah transformator berada pada keadaan kelebihan beban (*overload*). Transformator yang berada dalam keadaan *overload* sangat rentan dengan gangguan serta memiliki susut daya yang tinggi sehingga menyebabkan nilai efisiensi transformator menjadi rendah [2]. Dengan mencegah terjadinya *overload* transformator, timbulnya gangguan pada transformator dapat dikurangi serta susut daya yang disebabkan pembebanan transformator dapat diminimalisir.

Namun, *uprating* transformator yang dilakukan tanpa perencanaan dan perhitungan yang tepat, justru dapat memperbesar nilai susut daya. Jika kapasitas daya transformator dinaikkan terlalu tinggi, maka transformator akan mengalami kekurangan beban (*underload*). Transformator yang berada pada keadaan *underload* memiliki persentase susut yang besar. Untuk mencapai persentase susut terkecil dan efisiensi yang tinggi, transformator harus berada pada pembebanan yang normal (40%-80%).[3]

Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian mengenai aplikasi pendekatan aliran daya untuk menghitung susut daya pada transformator distribusi. Perhitungan susut daya dilakukan dengan metode *Energi Load Flow, Loss Factor Analysis* dan simulasi aliran daya pada Digsilent Power Factory 15.1. Perhitungan tersebut dilakukan pada dua keadaan yaitu sebelum dilakukan *uprating* transformator dan setelah dilakukan *uprating* transformator. Susut daya yang diperoleh tersebut selanjutnya akan digunakan untuk mengestimasi susut energi pada transformator dalam setahun. Susut energi sebelum dan setelah *uprating* transformator akan dibandingkan kemudian dianalisis.

Penelitian pada tugas akhir ini diharapkan dapat membantu PT. PLN ULP INDRAPURA dalam mengestimasi susut energi yang terjadi pada

transformator distribusi. Hasil dari penelitian ini juga dapat dijadikan evaluasi terhadap penggantian transformator distribusi yang telah dilakukan, khususnya yang mengalami *uprating* transformator serta dapat digunakan untuk menentukan kapasitas transformator yang tepat pada sebuah gardu distribusi.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *uprating* transformator terhadap nilai susut daya di PT. PLN ULP INDRAPURA?
2. Berapa nilai susut daya transformator sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator?
3. Apakah *uprating* transformator yang telah dilakukan di PT. PLN ULP INDRAPURA sudah tepat dan mampu mengurangi susut daya?
4. Bagaimana perhitungan susut daya pada Digsilent Power Factory 15.1?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *uprating* transformator terhadap nilai susut daya transformator.
2. Menghitung nilai susut yang terjadi pada transformator dengan metode *Energy Load Flow*, *Loss Factor Analysis* dan Simulasi Aliran Daya pada Digsilent Power Factory 15.1.
3. Membandingkan dan mengevaluasi nilai susut transformator sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator.
4. Menentukan kapasitas transformator yang tepat pada suatu gardu distribusi.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan dan simulasi aliran daya (*load flow*) dilakukan dalam kondisi Beban Seimbang.
2. Pengukuran beban transformator dilakukan secara manual pada Panel hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)
3. Perhitungan susut dengan metode aliran daya pada Digsilent Power Factory 15.1
4. Perhitungan susut dengan metode *Energy Load Flow* dan *Loss*

Factor Analysis dilakukan dengan mengacu pada nilai *no-load loss* dan *load loss* transformator yang ditetapkan pada SPLN.

5. Bandingkan susut transformator sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator
6. Bandingkan susut transformator pada metode *Energy Load Flow* dan *Loss Factor Analysis* dengan analisis Aliran daya pada Digsilent Power Factory 15.1

1.5. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dikerjakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur ini bertujuan sebagai penguasaan materi dalam Tugas Akhir ini. Pada tahap ini penulis akan mempelajari tentang susut yang terjadi pada transformator distribusi, mulai dari penyebab timbulnya susut serta perhitungan dan simulasi susut daya yang timbul pada transformator. Sumber yang digunakan berasal dari paper, jurnal, buku serta standard yang berlaku di PT PLN.

2. Menentukan Transformator yang akan Dianalisis

Sejak Januari sampai dengan November 2018 telah dilakukan 80 penggantian transformator. Dari 80 transformator tersebut akan dipilih 4 transformator yang menjadi sampel untuk diteliti. Penulis juga akan memilih transformator dengan nilai *uprating* yang tinggi, sehingga diperoleh perbedaan nilai pembebanan yang tinggi sebelum dilakukan *uprating* dan setelah dilakukan *uprating*. Setelah itu dilakukan pemodelan sistem kelistrikan pada Digsilent Power Factory 15.1.

3. Pengukuran Beban Transformator

Penulis akan melakukan pengukuran beban secara aktual. Pada tahap ini penulis melakukan pengukuran setiap 2 jam dalam periode waktu satu hari. Dari pengukuran tersebut akan didapatkan kurva pembebanan transformator dan karakteristik beban transformator. Hasil dari pengukuran beban ini akan digunakan dalam simulasi aliran daya dan perhitungan susut teknis transformator.

4. Simulasi dan Perhitungan Susut Transformator

Penulis akan melakukan perhitungan susut pada transformator

sesuai yang telah dipelajari pada studi literatur. Metode yang digunakan adalah *loss factor analysis* dan simulasi aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan Digsilent Power Factory 15.1. Hasil dari metode tersebut tersebut akan digunakan dalam menganalisis susut daya yang terjadi pada transformator.

5. Analisis Data dan Kesimpulan

Hasil dari perhitungan dan simulasi akan dibandingkan dan dianalisis. Dengan membandingkan nilai susut daya sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator, serta membandingkan hasil perhitungan dan simulasi, penulis dapat menganalisis pengaruh *uprating* transformator terhadap nilai susut transformator. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan yang menggambarkan keadaan susut transformator setelah di *uprating* di PT. PLN ULP INDRAPURA. Hasil dari penelitian ini juga akan digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan kapasitas transformator pada gardu distribusi.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Pada tahapan terakhir, penulis akan menyusun laporan tugas akhir berdasarkan progres yang telah dilaksanakan dan hasil perhitungan serta simulasi yang telah dilakukan.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam buku tugas akhir ini, pembahasan mengenai sistem yang dibuat terbagi menjadi Lima Bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab I : Pendahuluan
Bab ini meliputi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.
- Bab II : Tinjauan Pustaka
Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir, serta penelitian sebelumnya yang terkait dengan topik Tugas Akhir ini. Teori penunjang yang digunakan meliputi Transformator, Karakteristik beban, Perhitungan susut Transformator dan Efisiensi Transformator.
- Bab III : Rancangan Penelitian

Bab ini akan menjelaskan tentang langkah-langkah penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian. Pada bab ini juga akan dilakukan pemodelan sistem jaringan yang akan disimulasikan menggunakan Digsilent Power Factory 15.1.

- Bab IV : Hasil dan Analisis Data
Bab ini menjelaskan tentang hasil perhitungan dan simulasi susut daya pada transformator distribusi. Nilai susut daya transformator akan ditampilkan dan dijelaskan, kemudian dianalisis untuk memperoleh gambaran mengenai susut daya sebelum dan setelah *uprating* transformator serta digunakan untuk menentukan kapasitas transformator yang tepat digunakan pada gardu distribusi.
- Bab V : Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari perhitungan dan simulasi yang telah dilaksanakan serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7. Relevansi

Dengan adanya penelitian pada Tugas Akhir ini, diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Dapat digunakan sebagai referensi dalam melakukan *uprating* transformator di PT. PLN ULP INDRAPURA.
2. Dapat dijadikan referensi penelitian susut transformator pada jaringan distribusi PT PLN.
3. Dapat digunakan untuk mengevaluasi *uprating* transformator yang telah dilakukan di PT. PLN ULP INDRAPURA.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB II

PENGARUH UPRATING TRANSFORMATOR TERHADAP SUSUT DAYA

2.1. Pendahuluan

Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap susut daya transformator pada gardu distribusi di PT PLN ULP Indrapura. Kondisi yang terjadi pada gardu distribusi saat ini adalah *under load* (beban rendah) yang disebabkan oleh adanya peningkatan kapasitas daya pada transformator distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui susut daya sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator pada gardu distribusi. Berdasarkan nilai susut daya pada transformator, dapat dilakukan analisis untuk mengetahui kesesuaian kapasitas transformator dengan beban pada sebuah gardu distribusi sehingga efisiensi tertinggi pada transformator dapat tercapai.

Berdasarkan penelitian [3], efisiensi tertinggi pada sebuah transformator berada pada pembebanan 50% sampai dengan 60 %. Efisiensi transformator akan menurun baik pada beban yang lebih tinggi maupun pada beban yang lebih rendah. Penelitian [4], juga menunjukkan bahwa persentase susut daya transformator terbesar terjadi pada pembebanan dibawah 40% dan pembebanan diatas 80%. Hal ini disebabkan oleh dua jenis susut yang ada pada sebuah transformator, yaitu rugi-rugi berbeban (*load loss*) dan rugi-rugi tanpa beban (*no-load loss*). Sifat *load loss* yang semakin meningkat seiring bertambahnya beban membuat persentase susut daya transformator meningkat pada beban yang tinggi, dan sifat *no-load loss* yang tetap pada semua kondisi beban membuat persentase susut daya transformator meningkat pada beban yang rendah.

2.2. Transformator

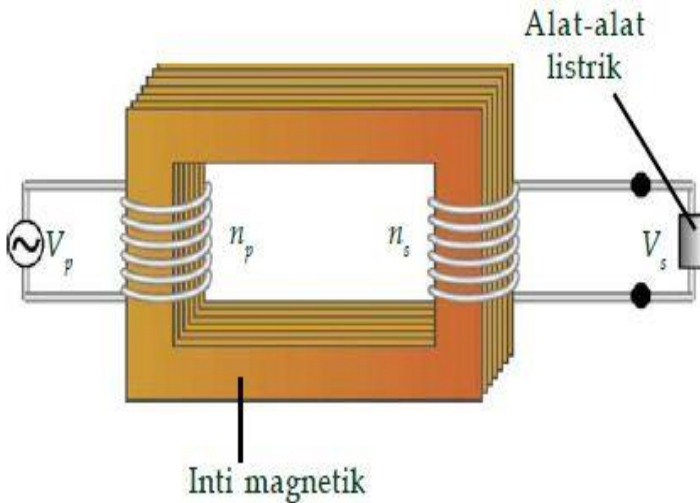
Transformator merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik pada frekuensi yang sama [5]. Naik atau turunnya tegangan pada sisi sekunder transformator tergantung pada perbandingan jumlah belitan primer dan sekundernya.

Saat ini transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Pada sistem tenaga listrik, penggunaan transformator memungkinkan terjadinya penyesuaian nilai tegangan dengan nilai tegangan yang dibutuhkan beban. Dalam sistem distribusi

tenaga listrik, transformator distribusi umumnya digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah.

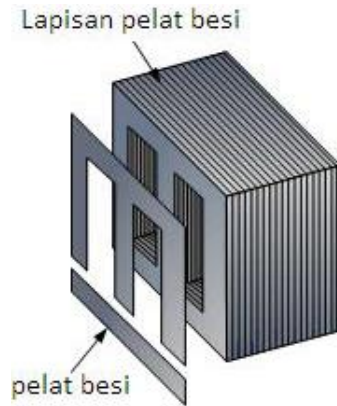
2.2.1. Bagian – Bagian Transformator

Sebuah transformator terdiri dari tiga komponen utama yaitu belitan primer, belitan sekunder dan inti besi. Belitan primer sebuah transformator terhubung dengan sumber daya listrik dan belitan sekunder terhubung dengan beban transformators.



Gambar 2.1 Bagian – bagian Transformator

- a. Inti Besi, merupakan komponen yang berfungsi sebagai jalur mengalirnya fluks yang ditimbulkan oleh mengalirnya arus listrik pada kumparan. Inti besi merupakan gabungan dari lempengan besi tipis yang berisolasi yang disusun dengan berlapis – lapis. Tujuan dari lapisan – lapisan ini adalah untuk mengurangi timbulnya susut pada inti besi yang disebabkan oleh arus eddy.



Gambar 2.2 Inti Besi Transformator

- b. Belitan transformator, merupakan komponen berupa kawat berisolasi yang disusun dengan pola tertentu hingga membentuk belitan. Isolasi pada belitan transformator digunakan untuk mengisolasi belitan terhadap inti besi maupun belitan lainnya. Isolasi yang digunakan umumnya berupa isolasi padat seperti karton, pertinax dan lai-lain. Pada transformator terdapat dua belitan yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Belitan primer merupakan belitan yang terhubung dengan sumber tegangan dan belitan sekunder merupakan belitan yang terhubung dengan beban.



Gambar 2.3 Belitan Transformator

2.2.2. Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja dengan mengacu pada prinsip induksi elektromagnetik. Ketika belitan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC) maka akan muncul fluks bolak – balik, karena belitan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalir arus bolak-balik (I_1) pada belitan primer. *Fluks* magnetik tersebut menimbulkan GGL induksi (*self induction*) pada belitan primer. Besar GGL induksi pada belitan primer adalah :

$$e_p = -N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Fluks tersebut akan mengalir melalui inti besi ke sisi sekunder, dan akan terinduksi pada belitan sekunder transformator, sehingga timbul GGL induksi (*mutual induction*) pada belitan sekunder transformator [5]. Besar GGL induksi pada belitan sekunder adalah :

$$e_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

Dimana :

e_p = GGL Induksi pada belitan primer (volt)

e_s = GGL Induksi pada belitan sekunder (volt)

N_p = Jumlah belitan primer

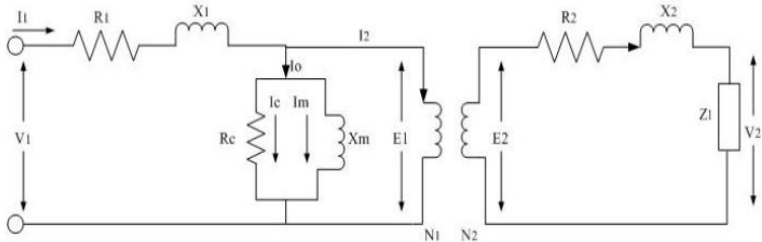
N_s = Jumlah belitan sekunder

$d\Phi$ = Perubahan *fluks* magnetik (weber)

dt = Perubahan waktu (detik)

2.2.3. Rangkaian Ekuivalen Transformator

Salah satu cara yang digunakan untuk mempermudah analisis transformator adalah dengan membuat rangkaian ekuivalen dari transformator. Berikut ini merupakan rangkaian ekuivalen sebuah transformator.



Gambar 2.4 Rangkaian Ekivalen Transformator

Dari rangkaian ekivalen tersebut dapat diperoleh persamaan berikut ini :

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.3)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2 \quad (2.4)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \Rightarrow E_1 = a \cdot E_2 \quad (2.5)$$

Berdasarkan persamaan 2.4 dan 2.5 diperoleh,

$$E_1 = a(I_2 Z_1 + I_2 R_2 + I_2 X_2) \quad (2.6)$$

Dari persamaan :

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_2 = a I'_2 \quad (2.7)$$

Sehingga diperoleh persamaan berikut ini :

$$E_1 = a^2 I'_2 Z_1 + a^2 I'_2 R_2 + a^2 I'_2 X_2 \quad (2.8)$$

$$V_1 = a^2 I'_2 Z_1 + a^2 I'_2 R_2 + a^2 I'_2 X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.9)$$

Dengan menyederhanakan rangkaian, dapat diperoleh persamaan ini :

$$R_{eq} = R_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot R_2 \quad (2.10)$$

$$X_{eq} = X_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot X_2 \quad (2.11)$$

2.2.4. Jenis – Jenis Transformator

Dalam sistem tenaga listrik, berdasarkan penggunaannya transformator dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu :

- a. Transformator Daya, merupakan transformator yang umumnya digunakan pada pembangkit tenaga listrik dan saluran transmisi tenaga listrik. Transformator disebut juga dengan transformator *step-up* karena digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
- b. Transformator Distribusi merupakan transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan distribusi.
- c. Transformator pengukuran merupakan transformator yang digunakan untuk mengubah level arus dan level tegangan. Transformator ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dan arus pada belitan primer agar dapat digunakan dengan aman pada sisi sekunder.

2.3. Transformator Distribusi

Dalam sistem distribusi PT PLN, transformator distribusi merupakan peralatan yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jaringan tegangan menengah (20 KV) ke jaringan tegangan rendah (380V/220V). Tegangan pada jaringan tegangan rendah kemudian dihubungkan dengan beban (konsumen).

Sesuai dengan standard NEMA (*National Electrical Manufactoris Association*), rating transformator distribusi dapat diklasifikasikan menjadi :

- Transformator distribusi 1Ø : rating 3 KVA s/d 500 KVA
- Transformator distribusi 3Ø : rating 9 KVA s/d 1600 KVA

Rating transformator disesuaikan dengan jumlah daya beban yang terhubung pada transformator.

Pada penggunaannya, transformator distribusi ditempatkan pada sebuah gardu distribusi. Berikut ini merupakan jenis-jenis gardu distribusi yang digunakan pada sistem distribusi PT PLN :

- a. Gardu Cantol (*single pole mounted distribution substation*), merupakan konstruksi gardu distribusi yang menggunakan satu tiang.

Transformator dipasang secara langsung dengan menggunakan bantuan *travers* menggunakan suatu pola melintang. Rating transformator yang dapat digunakan pada gardu cantol adalah maksimal 100 KVA[6].



Gambar 2.5 Gardu Cantol

- b. Gardu Portal, merupakan gardu listrik tipe terbuka (*out-door*) yang menggunakan dua tiang atau lebih. Pada sistem distribusi PT PLN, gardu portal merupakan gardu yang paling umum digunakan. Kapasitas maksimal transformator yang digunakan pada gardu ini adalah 400 KVA [6].



Gambar 2.6 Gardu Portal

- c. Gardu Beton, Merupakan gardu listrik tipe tertutup (*in-door*). Berbeda dengan gardu portal dan gardu cantol, transformator pada gardu beton tidak dipasang diatas tiang, tetapi dipasang pada ruangan tertutup. Berdasarkan nilai estetika, gardu beton lebih baik daripada gardu tipe lainnya, karena pemasangan transformatornya berada didalam ruangan sehingga tidak mengganggu pemandangan. Gardu beton sangat cocok digunakan pada daerah perkotaan, pusat perdangan, tempat hiburan dan sarana rekreasi.



Gambar 2.7 Gardu beton

2.4. Pembebanan Transformator

2.4.1. Klasifikasi Beban Transformator

Pada umumnya, beban pada transformator dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis. Berikut ini jenis - jenis beban pada transformator :

a. Beban Perumahan

Beban perumahan merupakan beban yang dilayani oleh sebuah transformator distribusi dimana seluruh atau sebagian besar dari beban tersebut merupakan tempat tinggal atau rumah penduduk. Beban perumahan biasanya terdiri dari peralatan – peralatan listrik seperti kipas angin, lampu, lemari es, peralatan elektronik, pendingin udara (AC), kompor listrik dan lain sebagainya.

Nilai pembebanan pada suatu interval waktu tertentu sangat beragam dan selalu berubah pada setiap waktu. Hal tersebut disebabkan kebiasaan dan kebutuhan konsumen energi listrik yang bervariasi serta kondisi lingkungan konsumen. Kondisi tersebut menyebabkan kurva beban pada gardu distribusi menunjukkan beban yang selalu berubah. Terkadang beban akan lebih kecil dari rating transformator. Sebaliknya, terkadang beban lebih besar dari kapasitas transformator distribusi yang melayani.

Pada umumnya kurva beban harian pada transformator dengan beban perumahan memiliki dua buah puncak, yaitu pada siang hari dan malam hari. Dari kurva beban tersebut dapat diketahui nilai kebutuhan daya listrik yang harus dilayani oleh sebuah transformator.

b. Beban Komersial

Beban komersial merupakan jenis beban yang dilayani oleh sebuah transformator distribusi. Beban ini terdiri dari suatu kelompok pertokoan / perdagangan yang umumnya terletak pada daerah perkotaan ataupun pusat perbelanjaan (pasar).

Untuk beban komersial jenis – jenis peralatan yang menjadi sumber utama beban adalah lampu penerangan, mesin – mesin kecil, pendingin udara dan lain sebagainya. Beban Puncak pada beban komersial umumnya terjadi pada jam kerja yaitu pada siang hari.

c. Beban Industri

Beban industri merupakan kelompok beban transformator yang terdiri dari industri – industri ataupun perusahaan tertentu. Beban industri pada umumnya terletak pada daerah yang terpisah dari lingkungan beban perumahan dan komersial. Beban industri juga disuplai dari penyulang yang berbeda dari beban perumahan dan beban komersial. Hal ini bertujuan untuk menjaga keandalan dan kualitas daya listrik yang disalurkan pada beban industri.

Pada daerah perindustrian, penyedia jasa layanan listrik (PLN) dituntut untuk menyediakan listrik dengan keandalan dan kualitas daya yang baik. Hal ini disebabkan oleh banyaknya motor – motor listrik tiga fasa pada beban industri dan waktu operasi suatu beban industri yang hampir mencapai 24 jam dalam sehari.

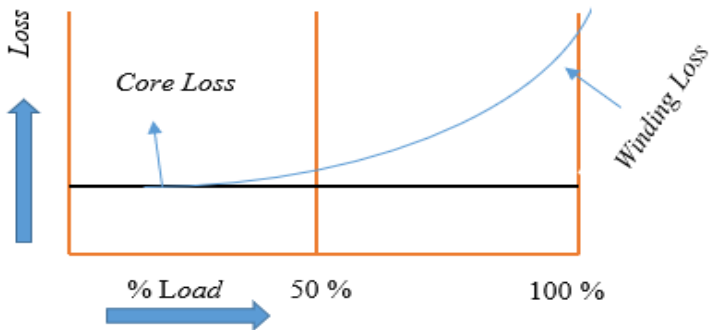
2.4.2. Kondisi Pembebanan Transformator

Pada sistem distribusi PLN, terdapat beberapa kondisi pembebanan pada transformator, yaitu :[7]

- a. *Over load*, merupakan kondisi pembebanan lebih dari 80% dari kapasitas transformator.
- b. *Under load*, merupakan kondisi pembebanan kurang dari 40% dari kapasitas transformator.
- c. *Normal load*, merupakan kondisi pembebanan antara 40% sampai dengan 80% dari kapasitas transformator.

Kondisi pembebanan transformator sangat berpengaruh terhadap susut daya dan efisiensi transformator. Untuk mencapai efisiensi tertinggi, suatu transformator harus dibebani antara 50 % sampai dengan 60 %. [3] Transformator yang berada pada kondisi *over load* dan *under load* akan

memiliki efisiensi yang rendah. Hubungan antara pembebanan dan susut transformator dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva Beban dan Susut Transformator

2.4.3. Karakteristik Beban Transformator

Karakteristik beban adalah kecenderungan perubahan beban yang terjadi pada sistem tenaga listrik dalam rentan waktu tertentu. Berdasarkan jenis pelanggan, karakteristik beban pada sistem distribusi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa sektor, yaitu : rumah tangga, industri, komersial, dan usaha.[8]

Mengetahui karakteristik beban pada suatu transformator sangat penting, karena karakteristik beban transformator dapat dijadikan acuan dalam mengevaluasi pembebanan dan untuk merencanakan pembangunan gardu distribusi yang baru. Karakteristik beban juga dapat digunakan sebagai acuan dalam memilih kapasitas transformator serta dijadikan sebagai acuan untuk menentukan rating peralatan proteksi transformator.[8]

Berikut ini merupakan besaran-besaran yang berkaitan dengan karakteristik beban, yaitu :[8]

a. *Demand*

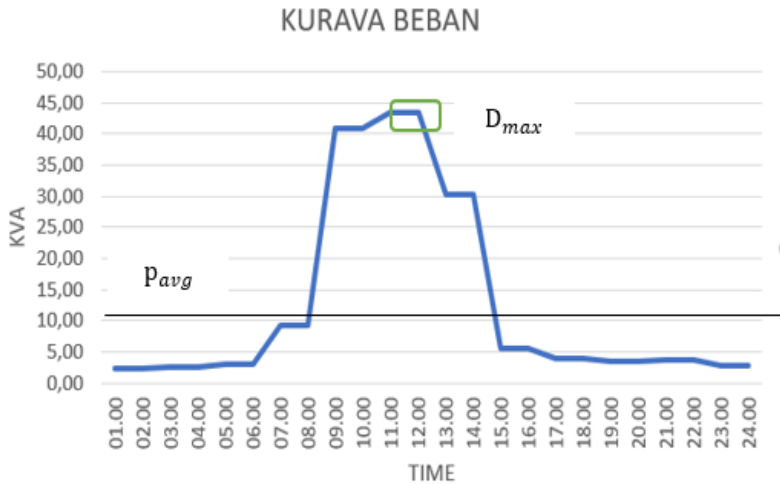
Demand (D) merupakan besar pembebanan sesaat pada waktu tertentu atau besar beban rata-rata pada suatu interval waktu tertentu. *Demand* dapat dinyatakan dalam satuan KVA, KW, KVAR dan satuan beban lainnya.

b. *Maximum Demand*

Maximum demand (D_{max}) merupakan kondisi pembebanan rata-rata terbesar yang terjadi dalam selang waktu tertentu. *Maximum demand* juga dinyatakan dalam satuan KW, KVA dan KVAR.

c. Beban Puncak (*Peak Load*)

Beban Puncak (P_{max}) merupakan nilai pembebanan sesaat pada suatu interval *demand* tertentu. Penjelasan mengenai *Demand* (D), *Maximum Demand* (D_{max}), dan Beban Puncak (P_{max}) dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.9 Kurva Beban Transformator Distribusi

Interval *demand* : $T = 24 \text{ Jam}$
Demand = P_{Avg} : $D = 12 \text{ KVA}$
Max Demand : $D_{max} \text{ 2 jam} = 40 \text{ KVA}$
 Beban Puncak : $P_{max} = 43 \text{ KVA}$

d. Faktor Beban (*Load Factor*)[9]

Load factor merupakan perbandingan beban rata-rata dengan beban puncak yang terjadi pada interval waktu tertentu. Beban rata-rata dan beban puncak harus dideskripsikan dalam satuan yang sama, sehingga faktor beban tidak memiliki satuan.

Load factor harus didefinisikan dengan batas yang spesifik, seperti

interval waktu pembebanan, interval waktu beban puncak dan beban rata-rata terjadi. Ketika interval waktu pembebanan diperbesar, maka nilai beban rata-rata akan mengecil, sehingga menyebabkan *load factor* memiliki nilai yang kecil juga.

Persamaan untuk *load factor* dapat dilihat dibawah ini,

$$F_d = \frac{P_{avg}}{P_{peak}} \quad (2.12)$$

Dimana :

F_d = *Load factor*

P_{avg} = Daya rata-rata (Kw)

P_{peak} = Daya saat beban puncak (Kw)

e. Faktor Kerugian (*Loss Factor*)

Loss factor merupakan perbandingan antara rata-rata rugi daya dengan rugi daya pada beban puncak yang terjadi pada interval waktu tertentu. *Loss factor* dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini,

$$F_{LS} = \frac{P_{loss(rata-rata)}}{P_{loss(beban puncak)}} \quad (2.13)$$

Dimana :

F_{LS} = *Loss factor*

$P_{loss(rata-rata)}$ = Susut rata-rata (Kw)

$P_{loss(beban puncak)}$ = Susut saat beban puncak (Kw)

f. Faktor Daya (*Power Factor*)

Power factor dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Dalam sistem distribusi tenaga listrik, *power factor* sangat dipengaruhi oleh beban. Oleh sebab itu, jika beban pada sebuah sistem selalu berubah ubah dan terdapat perbedaan yang besar antara beban puncak dan beban minimum, maka nilai *power factor* harus dinyatakan untuk setiap keadaan beban.

Nilai *power factor* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

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

Dimana :

$\text{Cos}\varphi$ = Power factor

P = Daya aktif (Kw)

S = Daya Semu (KVA)

2.4.4. Pertumbuhan Beban Transformator

Suatu sistem distribusi dirancang untuk memenuhi kebutuhan beban pada saat ini dan pada masa yang akan datang. Hal tersebut bertujuan untuk mengatasi pertumbuhan beban yang terjadi pada masa yang akan datang. Besar kemampuan suatu sistem dirancang berdasarkan kondisi beban dan masalah yang timbul pada sistem tersebut. [8]

Pada transformator distribusi, kapasitas transformator harus disesuaikan dengan beban dan perkembangan beban yang dipikul oleh transformator tersebut. Hal ini bertujuan untuk memastikan transformator tersebut mampu melayani beban dalam waktu yang relative lama sehingga memperkecil biaya operasional dan penggantian transformator distribusi. Penyesuaian kapasitas transformator juga bertujuan untuk menghindari terjadinya kondisi *over load* dan *under load* pada transformator, sehingga efisiensi daya pada transformator semakin baik.

Pertumbuhan beban pada transformator dapat diprediksi (diramalkan) dari data pembebanan transformator pada masa lampau, kemudian diolah menggunakan metode statistika. Teknik Peramalan ini dikenal dengan *Time Series Analysis*. Pada teknik *Time Series Analysis*, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan yaitu *Exponential Smoothing*, *Sesonal Hot-Winter*, ARMA, ARAR *Algorithm*, dan *Regression with ARMA Errors*. [10]

Pada sistem distribusi PT PLN, selain menggunakan teknik peramalan beban dengan metode statistika, pembebanan dapat diprediksi berdasarkan target pertumbuhan pemakaian energi listrik dalam satu tahun. Target Pertumbuhan ini dapat diperoleh dari *Key Performance Indicator* yang ditentukan oleh PT PLN.

Target pertumbuhan tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam memprediksi beban transformator dimasa yang akan datang. Cara ini memiliki kelemahan dalam hal akurasi, sehingga pembebanan pada transformator perlu dievaluasi secara rutin dalam rentang waktu tertentu. Namun cara ini dinilai lebih efisien, mengingat jumlah transformator distribusi yang begitu banyak.

2.5. Susut Transformator

Dalam keadaan ideal, perbandingan antara belitan primer dan belitan sekunder sama dengan perbandingan tegangan primer dan tegangan sekunder. Namun, keadaan ideal pada sebuah transformator tidak mungkin terjadi. Pada transformator selalu terdapat susut yang mempengaruhi keadaan ideal tersebut.[9]

Terdapat dua jenis susut pada transfor, yaitu susut belitan dan susut inti besi. Susut tersebut ditimbulkan oleh adanya resistansi belitan, fluks bocor, arus eddy dan histerisis pada transformator. Dari rangkaian ekivalen transformator diatas dapat dilihat penyebab terjadinya susut. Susut belitan ditunjukkan dengan R_1 dan R_2 , susut inti terjadi di R_c , serta fluks bocor terjadi di X_1 dan X_2 .

Secara umum, susut (*loss*) merupakan kerugian yang terjadi akibat adanya selisih antar pengeluaran (*output*) dan pemasukan (*input*). Pada sistem distribusi PT PLN, susut dihitung berdasarkan selisih energi yang diterima / dibeli dengan energi yang dijual ke pelanggan.

Untuk menghitung susut energi yang timbul pada transformator, terlebih dahulu harus dihitung susut daya transformator serta karakteristik beban pada transformator tersebut. Data yang diperoleh dari susut daya dan karakteristik beban tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung susut energi yang terjadi pada transformator.

2.5.1. Jenis – Jenis Susut Transformator

Susut pada sebuah transformator sangat dipengaruhi oleh pembebanannya. Berdasarkan pembebanannya, terdapat dua jenis susut daya pada transformator, yaitu *load loss* dan *no-load loss* .:

a. *Load Loss*

Load Loss merupakan susut pada transformator yang disebabkan oleh mengalirnya arus beban pada belitan transformator sehingga sering disebut sebagai susut belitan (P_{copper}). Nilai *load loss* pada transformator sangat bervariasi karena nilai arus beban yang mengalir selalu berubah - ubah. Maka dalam perhitungannya, nilai *load loss* sangat dipengaruhi oleh beban transformator.

$$P_{copper} = I_w^2 R \quad (2.15)$$

Dimana :

P_{copper} = Susut belitan (*full load*)
 R = resistansi belitan
 I_w = Arus beban

Nilai susut belitan berdasarkan variasi pembebanan transformator dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini,[11]

$$KW_{loss-trf-L} = \left[\frac{KVA_{load}}{KVA_{rated}} \right]^2 \times KW_{loss-rated} \quad (2.16)$$

Dimana :

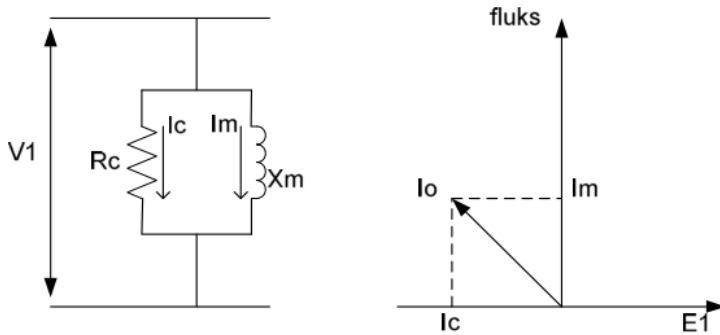
$KW_{loss-trf-L}$ = *Load Loss* (susut belitan) (KW)
 KVA_{load} = Beban Transformator (KVA)
 KVA_{rated} = Kapasitas Transformator (KVA)
 $KW_{loss-rated}$ = P_{copper} (KW)

b. *No-Load Loss*

No-Load Loss merupakan susut yang terjadi pada inti besi transformator sehingga sering disebut sebagai susut inti (P_{core}). Susut ini tidak dipengaruhi oleh pembebanan transformator, sehingga nilai susut ini selalu sama pada setiap pembebanan.

No-Load Loss dapat dihitung dengan menggunakan *open circuit test* seperti pada gambar 2.10. Pada gambar tersebut arus primer (I_0) yang mengalir ketika belitan sekunder berada pada keadaan tanpa beban disebut juga sebagai arus penguat. Arus penguat terdiri atas dua komponen utama yaitu :

1. Arus Magnetisasi (I_m), merupakan arus yang ditimbulkan pada inti besi dan berfungsi untuk membangkitkan fluks.
2. Arus rugi – rugi / susut (I_c), merupakan arus yang menyebabkan susut daya sebagai akibat dari timbulnya histerisis dan *eddy current*.



Gambar 2.10 Rangkaian Transformator Tanpa Beban

Penyebab utama terjadinya *no-load loss* adalah susut *hysteresis* dan *eddy current*. *Hysteresis Losses*, merupakan susut yang disebabkan oleh timbulnya fluks magnetik pada inti besi.[12]

$$P_h = K_h f B_{max}^{1,6} \quad (2.17)$$

Eddy current, merupakan susut yang disebabkan oleh timbulnya arus pusar pada inti besi.

$$P_e = K_e f^2 B_{max}^2 \quad (2.18)$$

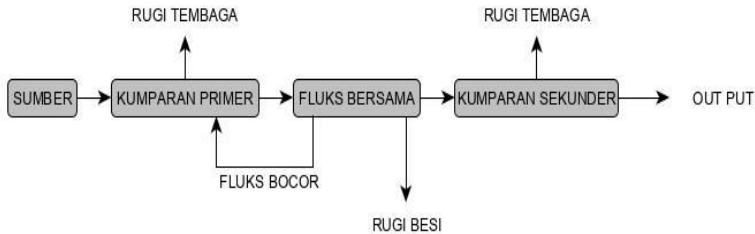
Jadi susut inti pada sebuah transformator adalah

$$P_{core} = P_h + P_e \quad (2.19)$$

Dimana :

- P_{core} = susut inti (Watt)
- P_h = susut hysteresis (Watt)
- P_e = susut eddy current (Watt)
- K_h = Konstanta *hysteresis*
- K_e = Konstanta *eddy current*
- B_{max} = Fluks Maksimum (weber)

Sehingga susut daya total yang terjadi pada sebuah transformator merupakan penjumlahan dari *load loss* dan *no-load loss*. Berikut ini merupakan skema dari terjadinya susut pada transformator.



Gambar 2.11 Skema Susut Transformator

2.5.2. Metode Perhitungan Susut Energi Transformator

Untuk menghitung dan mengestimasi nilai susut energi transformator distribusi, terdapat beberapa metode yang umum digunakan yaitu:

- a. Metode *Energy Load Flow* [11]

Metode *Energy Load Flow* merupakan metode matematis yang digunakan untuk mengetahui kondisi suatu sistem tenaga listrik. Dari metode ini akan diperoleh informasi yang menggambarkan aliran energi dan susut yang terjadi pada sistem.

Dalam mengestimasi susut energi pada transformator, dibutuhkan kurva pembebanan transformator. Kurva beban tersebut dibagi menjadi interval – interval. Interval beban tersebut selanjutnya akan digunakan untuk mengestimasi susut belitan (P_{copper}) transformator. Kemudian susut belitan transformator dijumlahkan dengan susut inti besi (P_{core}), sehingga diperoleh susut daya transformator.

Susut daya transformator yang diperoleh dari setiap interval tersebut akan digunakan untuk mengestimasi total susut energi yang ada pada transformator. Untuk mengestimasi susut energi tersebut digunakan persamaan berikut ini.

$$P_E = K \times Int_K \times (P_{copper} + P_{core}) \quad (2.20)$$

Dimana :

- P_E = Susut Energi (KWh)
- K = Konstanta hari
- Int_K = Interval waktu (Jam)
- P_{copper} = Susut belitan Transformator (KW)
- P_{core} = Susut inti Transformator (KW)

b. Metode *Loss Factor*

Metode *loss factor* merupakan metode yang digunakan untuk mengestimasi susut energi yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik dengan mengacu pada hubungan antara *load factor* dan *loss factor*: [9]

Hubungan antara *loss factor* dan *load factor* dapat direpresentasikan dalam beberapa persamaan, yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2.1 Persamaan Umum *Loss Factor* [9]

<i>Loss Factor</i>	<i>Reference Identifier</i>
$0,3 \cdot F_d + 0,7 \cdot F_d^2$	Buller
$0,2 \cdot F_d + 0,8 \cdot F_d^2$	Citi Power
$0,15 \cdot F_d + 0,85 \cdot F_d^2$	Gangel
$0,083 \cdot F_d + 1,036 \cdot F_d^2 - 0,119 \cdot F_d^3$	Wolf
$0,08 \cdot F_d + 0,92 \cdot F_d^2$	Gustafson I
$F_d^{1,8}$	Junge
$F_d^{1,912}$	Gustafson II
$\{F_d^2 \cdot (2 + F_d^2)\} / (1 + 2 \cdot F_d)$	Sochinsky
$F_d^2 + 0,273 \cdot (F_d - S_{min} / S_{max})$	Dawberry

Menurut penelitian [9], setiap penggunaan persamaan *loss factor* dapat digunakan layak untuk digunakan dalam mengestimasi susut energy. Namun penggunaan referensi tersebut harus disesuaikan dengan karakteristik beban transformator.

Berdasarkan nilai *loss factor* tersebut, maka nilai susut energi dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_E = (K \times 24 \times P_{copper} \times F_{LS}) + (K \times 24 \times P_{core}) \quad (2.21)$$

Dimana :

P_E = Susut Energi (KWh)

K = Konstanta hari

F_{LS} = *Loss Factor*

P_{copper} = Susut belitan Transformator (KW)

P_{core} = Susut inti Transformator (KW)

2.5.3 Efisiensi Transformator

Efisiensi merupakan sebuah indikator yang menyatakan tingkat kinerja suatu peralatan. Efisiensi pada sebuah transformator sangat dipengaruhi oleh nilai susut yang terjadi pada transformator. Secara matematis, efisiensi pada sebuah transformator dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.22)$$

$$\eta (\%) = \left[100 - \frac{P_{core} + (K^2 \times P_{copper})}{\kappa \times S \times \cos\phi} \times 100 \right] \% \quad (2.23)$$

$$\kappa = \frac{\text{beban transformator}}{\text{beban penuh}} \quad (2.24)$$

Dimana :

η = efisiensi (%)

κ = koefisien beban

S = daya semu transformator (KVA)

2.6. Analisis Aliran Daya

2.6.1. Pendahuluan

Pada sistem tenaga listrik, analisis aliran daya merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk memperoleh informasi mengenai sistem yang dijadikan sebagai objek analisis. Informasi yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan kondisi pembebanan, penyaluran dan kualitas sumber daya listrik. Terdapat beberapa kegunaan analisis aliran daya :

- Untuk mengetahui nilai tegangan pada sistem, baik tegangan pada sumber, saluran dan beban.
- Untuk mengetahui kelayakan suatu peralatan ketenagalistrikan, dalam menyalurkan daya yang diinginkan pada sistem.
- Untuk mengetahui kondisi awal pada perancangan sistem tenaga listrik.

Untuk mengetahui besarnya nilai arus pada suatu bus dalam suatu sistem tenaga listrik, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

Kirchoff arus, yaitu

$$\begin{aligned}
 I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\
 &= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - \dots - y_{in}(V_i - V_n)
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

Kemudian, untuk mengetahui nilai daya aktif dan daya reaktif pada suatu bus adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \tag{2.26}$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \tag{2.27}$$

Dengan mensubstitusikan kedua persamaan tersebut, maka diperoleh persamaan berikut ini

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \tag{2.28}$$

2.6.2. Analisis Aliran Daya dengan Digsilent Power Factory 15.1

Digsilent merupakan nama singkatan dari “*Digital Simulation and Electrical Network Calculation Program*”. Program Digsilent Power Factory merupakan *software* rekayasa yang berfungsi untuk menganalisis sistem tenaga listrik. *Software* ini telah dirancang dan didesain secara khusus dengan tujuan untuk menganalisis sistem tenaga listrik dan analisis kontrol.

Program simulasi Digsilent dapat digunakan untuk studi aliran daya pada suatu sistem yang besar dengan jumlah bus yang *unlimited*. Pada simulasi aliran daya dengan Digsilent digunakan metode *Newton Raphson*. Metode ini memiliki kelebihan dalam perhitungan dan pemrograman yang relatif mudah, dengan waktu tiap iterasi yang singkat dan tidak tergantung pada jumlah bus yang dianalisis. Dapat disimpulkan metode Newton Raphson pada Digsilent sangat efisien digunakan pada sistem distribusi yang memiliki jaringan yang besar dan dipenuhi oleh komponen ketenagalistrikan dengan jumlah yang banyak.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB III

RANCANGAN PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Pada tugas akhir ini, penelitian yang dilakukan merupakan penelitian secara langsung dilapangan. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 07 Januari 2019 sampai dengan 31 Maret 2019, dengan lokasi penelitian di PT. PLN (Persero) UP3 (Unit Pelaksana Pelayanan Peanggan) Surabaya Utara, ULP (Unit Layanan Pelanggan) Indrapura.

ULP Indrapura merupakan salah satu dari 6 ULP yang tergabung dalam UP3 Surabaya Utara. Kantor ULP Indrapura beralamat di Jl. Indrapura No. 48, Krembangan Selatan, Krembangan, Kota SBY, Jawa Timur 60164. Wilayah kerja ULP Indrapura terdiri dari 5 Kecamatan dan 13 Kelurahan, yaitu :

1. Kecamatan Semampir
 - Kelurahan Ampel
2. Kecamatan Krembangan
 - Kelurahan Krembangan Selatan
 - Kelurahan Kemayoran
3. Kecamatan Pabean Cantian
 - Kelurahan Perak Timur
 - Kelurahan Bongkaran
 - Kelurahan Nyamplungan
4. Kecamatan Genteng
 - Kelurahan Genteng
 - Kelurahan Kapasari
 - Kelurahan Ketabang
 - Kelurahan Peneleh
5. Kecamatan Bubutan
 - Kelurahan Alon-alon Contong
 - Kelurahan Bubutan
 - Kelurahan Tembok Dukuh

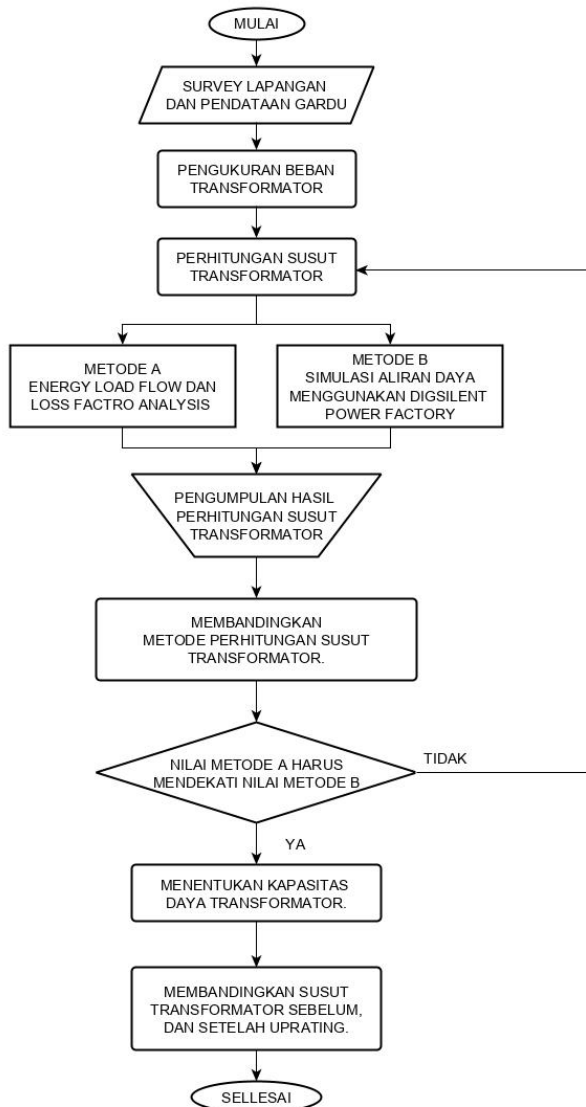
ULP Indrapura disuplai oleh 5 Gardu Induk (GI) Distribusi yaitu GI Morokrembangan, GI Simpang, GI Sawahan, GI Undaan, dan GI Kupang, dengan jumlah penyulang/*feeder* 59 buah dan melayani beban pada 726 buah gardu distribusi.

Penelitian tugas akhir ini, secara spesifik dilakukan pada penyulang Kebon Rojo. Penyulang Kebon Rojo merupakan penyulang yang disuplai dari Gardu Induk Distribusi Morokrebangan. Pada penyulang Kebon Rojo terdapat 34 gardu distribusi. Gardu tersebut memiliki transformator dengan kapasitas yang bervariasi mulai dari 25 KVA sampai dengan 250 KVA.

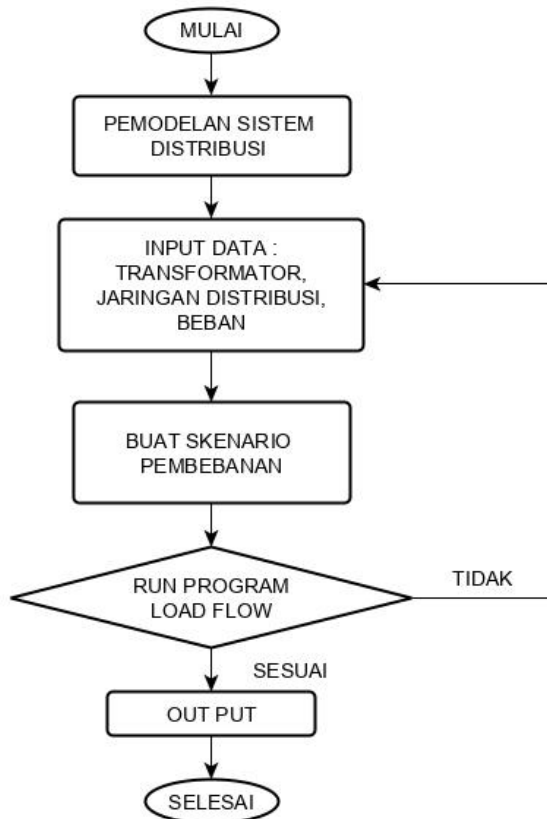


Gambar 3.1 Peta Wilayah Kerja ULP Indrapura

3.2. Alur Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Blok Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Blok Simulasi *Load Flow*

3.2.1 Survey Lapangan dan Pendataan Gardu

Pada tahap ini, dilakukan survey lapangan untuk menentukan transformator yang akan diteliti. Sebelum melakukan survey, dilakukan pengumpulan data penggantian transformator di ULP Indrapura sepanjang tahun 2018. Dari data penggantian transformator tersebut akan diperoleh tiga jenis perlakuan yang berbeda pada gardu distribusi, yaitu gardu distribusi mengalami kenaikan kapasitas transformator (*uprating*), gardu distribusi mengalami penurunan kapasitas tranformator, dan gardu distribusi tidak mengalami perubahan kapasitas transformator.

Tabel 3.1 Data *Upgrading* Tranformator[1]

NO	TANGGAL	GARDU	BARU		LAMA	
			KVA	TAHUN	KVA	TAHUN
1	21/02/2018	AA460	250	2018	3x50	1978
2	28/02/2018	AA235	250	2018	160	1992
3	07/03/2018	AA305	250	2017	160	2012
4	03/04/2018	AA142	250	2013	160	2012
5	12/04/2018	AA541	200	2007	3x50	1978
6	20/04/2018	AA762	200	2018	100	2010
7	23/04/2018	AA468	250	2018	200	2002
8	07/05/2018	AA501	100	2018	3x25	1978
9	14/05/2018	AA334	200	2018	50	1997
10	15/05/2018	AA259	200	2018	160	1994
11	21/05/2018	AA457	250	1991	200	2018
12	24/05/2018	AA077	200	2018	3x50	1984
13	31/05/2018	AA308	200	2018	160	1978
14	22/06/2018	AA484	250	2018	200	1992
15	23/06/2018	AA443	250	2018	200	2018
16	25/06/2018	AA065	200	2018	160	1990
17	29/06/2018	AA477	200	1997	160	1997
18	04/07/2018	AA446	250	2018	160	1983
19	17/07/2018	AA249	250	2018	100	1987
20	19/07/2018	AA143	160	2012	3x50	1984
21	24/07/2018	AA437	250	2018	3x50	1984
22	01/08/2018	AA857	250	2018	160	2017
23	02/08/2018	AA038	160	2017	3x50	1984

Tabel 3.1 Data *Uprating* Transformator (lanjutan)[1]

NO	TANGGAL	GARDU	BARU		LAMA	
			KVA	TAHUN	KVA	TAHUN
24	08/08/2018	AA205	200	2018	100	2012
25	21/08/2018	AA159	100	2018	3x25	1984
26	23/08/2018	AA219	160	2018	100	2003
27	12/09/2018	AA718	250	2018	200	1992
28	20/09/2018	AA481	160	2018	3x50	1984
29	27/09/2018	AA405	250	2018	200	1992
30	11/10/2018	AA564	160	2018	100	1987
31	07/11/2018	AA281	250	2018	100	2012
32	14/11/2018	AA072	200	2018	160	1991
33	15/11/2018	AA432	160	2018	3x50	1980
34	15/11/2018	AA404	160	2018	100	2013
35	18/11/2018	AA532	160	2018	3x50	1976
36	21/11/2018	AA242	250	2018	3x50	1984
37	22/11/2018	AA072	250	2018	200	2018
38	22/11/2018	AA471	100	2018	3x25	1984
39	22/11/2018	AA048	250	2018	200	2004
40	23/11/2018	AA233	250	2018	160	2002
41	26/11/2018	AA265	250	2018	100	2014
42	29/11/2018	AA299	250	2018	200	1982
43	30/11/2018	AA449	250	2018	160	2008
44	27/12/2018	AA177	160	2018	3x50	1984

Penelitian ini kemudian difokuskan pada gardu distribusi yang mengalami *uprating* transformator. Dari data *uprating* transformator tersebut akan dipilih gardu yang mengalami *uprating* transformator lebih dari satu tingkat.

Tabel 3.2 Data *Uprating* Tranformator Lebih dari Satu Tingkat

NO	PENYULANG	GARDU	DAYA (KVA)	ARUS (A)	
				PAGI	MALAM
1	Gemblongan	AA460	250	124	178
2	Kebon Rojo	AA235	250	70	41
3	Taman Surya	AA305	250	186	133
4	Kalimas	AA142	250	179	195
5	Rajawali	AA762	200	7	17
6	Ketabang Kali	AA334	200	25	10
7	Kebon Rojo	AA446	250	173	15
8	Kebon Rojo	AA249	250	107	15
9	Achmad Jais	AA437	250	133	47
10	Johor	AA857	250	80	51
11	Rajawali	AA205	200	82	45
12	Kusuma Bangsa	AA281	250	90	115
13	Kebon Rojo	AA242	250	48	40
14	Kebon Rojo	AA233	250	110	40
15	Kusuma Bangsa	AA265	250	47	66
16	Kebon Rojo	AA449	250	87	5

Kemudian, Penulis mengumpulkan data pengukuran beban pada gardu yang mengalami *uprating* transformator lebih dari satu tingkat. Pengukuran beban dilakukan dua kali, yaitu pada pagi/siang hari dan malam hari. Hasil pengukuran beban tersebut dapat menunjukkan kondisi pembebanan gardu setelah mengalami *uprating* transformator. Dalam hal ini kondisi beban yang dimaksud adalah kondisi *Under Load*, *Over Load*, dan beban Normal.

Kemudian, berdasarkan hasil pengukuran beban tersebut akan dipilih gardu yang berada pada kondisi *under load*. Kemudian, gardu

yang berada pada kondisi *under load* tersebut akan dikelompokkan berdasarkan penyulangannya. Penulis memilih gardu yang berada pada penyulang Kebon Rojo, yaitu gardu AA 233, AA 235, AA 249 AA 449. Berikut ini merupakan data transformator gardu yang diuji.

Tabel 3.3 Data Tranformator AA 233

AA 233		
	Transformator Lama	Transformator Baru
Merek	Bambang Djaja	Starlite
Tahun	2002	2018
Kapasitas	160 KVA	250 KVA
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Rating Tegangan	20KV/400V	20KV/400V
Rating Arus	4,62 A/230,94 A	7,21 A/360,8 A
Impedansi	3,68%	4%
Berat Total	1216 Kg	1475 Kg
Vektor Grup	Yzn 5	Dyn 5

Tabel 3.4 Data Tranformator AA 235

AA 235		
	Transformator Lama	Transformator Baru
Merek	Starlite	Sintra
Tahun	1992	2018
Kapasitas	160 KVA	250 KVA
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Rating Tegangan	20KV/400V	20KV/400V
Rating Arus	4,62 A/230,94 A	7,21 A/360,8 A
Impedansi	4%	4%
Berat Total	870 Kg	1080 Kg
Vektor Grup	Yzn 5	Dyn 5

Tabel 3.5 Data Tranformator 249

AA 249		
	Transformator Lama	Transformator Baru
Merek	HICO	Starlite
Tahun	1987	2018
Kapasitas	100 KVA	250 KVA
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Rating Tegangan	20KV/400V	20KV/400V
Rating Arus	2,88 A/144,3 A	7,21 A/360,8 A
Impedansi	3,82%	4%
Berat Total	870 Kg	1475 Kg
Vektor Grup	Yzn 5	Dyn 5

Tabel 3.6 Data Tranformator 449

AA 449		
	Transformator Lama	Transformator Baru
Merek	Voltra	Sintra
Tahun	2008	2018
Kapasitas	160 KVA	250 KVA
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Rating Tegangan	20KV/400V	20KV/400V
Rating Arus	4,62 A/230,94 A	7,21 A/360,8 A
Impedansi	4%	4%
Berat Total	922 Kg	1080 Kg
Vektor Grup	Yzn 5	Dyn 5

3.2.2 Pengukuran Beban Transformator

Pada tahap ini, pengukuran beban transformator dilakukan secara periodik, dengan interval waktu pengukuran dilakukan setiap dua jam. Pengukuran ini berlangsung selama satu bulan. Pengukuran ini bertujuan

untuk memperoleh pembebanan aktual dan karakteristik beban transformator.

Pengukuran beban dilakukan pada Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) dengan menggunakan *CLAMP ON POWER HiTESTER* (tang ampere) merek HIOKI tipe 3286-20. Hasil yang diperoleh dari pengukuran ini adalah arus beban (ampere), Tegangan Phasa-Netral (V), Daya Nyata (Watt), dan faktor daya. Hasil pengukuran beban tersebut akan diolah untuk memperoleh nilai susut pada transformator.



Gambar 3.4 *Clamp On Power HiTESTER*

3.2.3 Perhitungan Susut Transformator

Setelah mendapatkan data pembebanan aktual transformator, akan dilakukan penginputan data kedalam *software* Microsoft Excel dan akan dibuat sebuah grafik yang menggambarkan kondisi pembebanan transformator dalam satu hari (24 Jam). Dari data tersebut dapat diperoleh beban puncak transformator, *load factor* dan *loss factor* tranformator.

Perhitungan susut transformator, dilakukan dengan mengacu pada susut tanpa beban transformator (*no-load loss*) dan susut berbeban transformator (*load loss*) yang diperoleh dari standard PT PLN. Berikut

ini merupakan data *no-load loss* dan *load loss* pada transformator berdasarkan standard yang berlaku di PT PLN.

Tabel 3.7 Susut Transformator Distribusi [13]

Kapasitas (KVA)	SPLN D3.002:2007	
	Susut Inti Besi (W)	Susut Belitan (W)
25	75	425
50	125	800
100	210	1420
160	300	2000
200	355	2350
250	420	2750
315	500	3250
400	595	3850

Kemudian dilakukan perhitungan susut transformator dengan menggunakan metode *Energy Load Flow* dan *Loss Factor Analysis*. Metode perhitungan susut transformator tersebut dilakukan berdasarkan data sebelum dilakukan *uprating* transformator, dan setelah dilakukan *uprating* transformator. Hasil perhitungan susut transformator tersebut akan dibandingkan dan dianalisis.

3.2.4 Simulasi Aliran Daya dengan Digsilent Power Factory 15.1

Pada tahap ini akan dilakukan pemodelan sistem distribusi radial pada penyulang Kebon Rojo, dengan kondisi beban seimbang pada setiap fasanya. Persentase pembebanan pada Transformator akan dibuat pada keadaan *Full Load* (80%) dan khusus pada transformator yang diuji, pembebanan akan disesuaikan dengan hasil pengukuran beban aktual transformator.

Sama halnya dengan perhitungan susut dengan metode *Energy Load Flow*, pada simulasi ini pembebanan pada transformator uji akan dibagi menjadi interval-interval yang disesuaikan dengan bentuk kurva pembebanan transformator. Pada simulasi ini pembebanan akan dibagi menjadi interval-interval.

Simulasi aliran daya dengan menggunakan *software* Digsilent Power Factory 15.1 dapat memberikan gambaran yang lebih nyata.

Berbeda dengan metode *energy load flow* dan *loss factor* yang menggunakan data rugi berbeban dan rugi tanpa beban dari standard PT PLN, metode simulasi perhitungan susut dengan *software* Digsilent Power Factory 15.1 dilakukan dengan menginput data sesuai dengan profil transformator yang diuji. Dari hasil simulasi aliran daya akan diperoleh daya yang tersalurkan dan susut daya yang terjadi pada transformator.

3.2.5 Analisis Susut Transformator

Setelah memperoleh nilai susut daya transformator, akan dilakukan analisis mengenai nilai susut transformator tersebut. Hal yang menjadi fokus utama adalah perbandingan susut daya transformator sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator. Dari hasil perbandingan tersebut, dapat diketahui apakah *uprating* transformator yang telah dilakukan di PT PLN ULP Indrapura mampu mengurangi nilai susut transformator atau justru meningkatkan susut daya transformator pada gardu distribusi.

Hasil perhitungan susut daya dengan metode *Energy Load Flow* dan *Loss Factor Analysis* juga akan dibandingkan dengan susut daya pada simulasi aliran daya dengan Digsilent. Hal ini bertujuan untuk mengkalibrasi atau mengoreksi hasil perhitungan susut yang telah dilakukan. Dengan melakukan perbandingan hasil dari setiap metode perhitungan susut tersebut, dapat diperoleh perhitungan yang tepat dan akurat.

3.2.6 Menentukan Kapasitas Transformator

Perbandingan susut transformator yang diperoleh juga akan digunakan untuk menentukan kapasitas transformator yang tepat digunakan pada gardu distribusi. Pada penelitian ini, penulis menentukan kapasitas transformator dengan mengacu pada dua kondisi pembebanan yaitu beban aktual dan beban ramalan.

Jika mengacu pada beban aktual transformator, maka kapasitas transformator dapat ditentukan dengan cara menurunkan kapasitas transformator hingga dicapai persentasi beban dalam rentang 40%-80%. Jika mengacu pada beban ramalan, maka beban transformator pada gardu distribusi terlebih dahulu dilakukan peramalan beban. Pada penelitian ini, beban transformator diramalkan dengan mengacu pada Target Pertumbuhan Penjualan Energi di UID (Unit Induk Distribusi) Jawa Timur, yaitu 8,51%.

Pada penelitian ini, akan diramalkan beban puncak dan beban rata-rata pada transformator hingga 5 tahun yang akan datang. Beban diramalkan dengan menganggap pertumbuhan beban berada pada nilai yang konstan yaitu 8,51% dalam setahun. Berdasarkan beban puncak dan beban rata-rata yang telah diramalkan tersebut, dilakukan analisis untuk menentukan kapasitas transformator yang tepat pada gardu distribusi.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, perhitungan dan simulasi kemudian dihimpun dan dianalisis. Pada bab ini akan dilakukan pembahasan dan analisis data hasil pengukuran beban dan perhitungan susut transformator. Berdasarkan hasil tersebut akan diperoleh nilai susut transformator sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator. Kemudian berdasarkan nilai susut daya transformator akan dilakukan analisis untuk menentukan kapasitas transformator yang tepat pada gardu distribusi, sehingga nilai efisiensi tertinggi dapat tercapai.

4.1. Hasil Pengukuran Beban Transformator

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai pembebanan aktual transformator berdasarkan hasil pengukuran. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui kondisi pembebanan transformator. Pada tabel 4.1, dan 4.2 terdapat nilai arus (A), tegangan (V), dan Faktor daya yang merupakan nilai rata-rata pada fasa R, S, dan T. Berikut ini akan ditampilkan data beban transformator selama seminggu yaitu dari tanggal 4 Maret 2019 sampai dengan tanggal 10 Maret 2019.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA 233 dan AA 235

Hari / Tanggal	Waktu	AA 233			AA 235		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
Senin 04/03/19	01.00	48,62	225,33	0,93	24,95	225,67	0,96
	03.00	36,05	225,00	0,92	24,81	225,67	0,95
	05.00	38,44	225,33	0,93	34,45	225,33	0,95
	07.00	61,73	224,33	0,93	51,34	225,67	0,95
	09.00	142,99	224,93	0,94	77,95	225,00	0,95
	11.00	136,87	225,70	0,95	87,71	225,33	0,94
	13.00	124,77	222,67	0,96	85,98	224,33	0,95
	15.00	130,57	224,70	0,95	87,84	226,00	0,95
	17.00	47,60	227,40	0,91	74,19	226,00	0,96
	19.00	45,20	226,63	0,92	72,21	226,00	0,93
	21.00	43,88	225,33	0,94	45,35	225,33	0,96
	23.00	47,40	225,00	0,93	30,55	225,67	0,96

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA233 dan AA235
(lanjutan)

Hari / Tanggal	Waktu	AA 233			AA 235		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
Selasa 05/03/19	01.00	39,90	225,67	0,93	29,32	225,00	0,96
	03.00	36,67	225,67	0,93	26,60	226,33	0,95
	05.00	38,56	225,33	0,92	36,04	226,33	0,95
	07.00	58,86	225,67	0,93	53,04	224,33	0,95
	09.00	137,69	225,00	0,93	79,67	225,97	0,95
	11.00	133,59	225,33	0,94	90,14	223,63	0,94
	13.00	122,42	224,33	0,96	86,08	224,80	0,95
	15.00	130,30	226,00	0,95	81,07	225,63	0,95
	17.00	53,27	226,00	0,93	73,44	227,00	0,96
	19.00	49,45	226,00	0,92	70,70	225,67	0,94
	21.00	45,93	225,33	0,94	45,75	226,00	0,96
	23.00	41,41	225,67	0,93	28,17	226,00	0,96
Rabu 06/03/19	01.00	47,06	226,33	0,93	27,50	226,00	0,96
	03.00	40,04	225,00	0,92	24,23	225,83	0,95
	05.00	40,07	226,33	0,93	35,65	226,33	0,95
	07.00	63,56	226,33	0,93	51,17	226,00	0,96
	09.00	137,59	224,33	0,94	79,18	225,33	0,94
	11.00	132,14	225,90	0,94	88,23	226,37	0,94
	13.00	119,11	222,93	0,95	90,77	224,70	0,95
	15.00	133,39	224,77	0,94	86,67	226,33	0,94
	17.00	54,23	225,50	0,93	74,67	226,73	0,96
	19.00	45,19	227,00	0,93	71,07	227,63	0,92
	21.00	44,89	225,67	0,93	45,43	227,00	0,97
	23.00	44,11	226,67	0,93	29,41	225,67	0,96
Kamis 07/03/19	01.00	40,75	224,33	0,93	28,59	226,00	0,96
	03.00	39,19	225,67	0,93	26,91	226,00	0,94
	05.00	40,33	225,67	0,92	34,95	226,00	0,96
	07.00	65,35	224,27	0,93	51,59	225,33	0,96
	09.00	134,27	225,20	0,93	79,65	225,67	0,96
	11.00	137,23	225,90	0,94	87,78	226,00	0,95
	13.00	127,97	225,97	0,96	86,10	226,00	0,95
	15.00	130,17	224,07	0,95	85,05	225,33	0,96
	17.00	47,31	225,23	0,93	72,73	225,67	0,96

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA 233 dan AA 235 (lanjutan)

Hari / Tanggal	Waktu	AA 233			AA 235		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
	19.00	46,52	225,33	0,92	71,06	226,33	0,94
	21.00	44,61	225,60	0,93	45,80	225,00	0,96
	23.00	46,10	225,23	0,93	29,29	226,33	0,96
Jumat 08/03/19	01.00	44,31	226,00	0,92	27,27	226,33	0,96
	03.00	37,37	227,00	0,93	25,57	224,33	0,95
	05.00	39,36	225,67	0,92	35,66	225,90	0,95
	07.00	58,98	225,33	0,93	51,52	222,93	0,96
	09.00	145,58	225,60	0,93	78,58	224,77	0,96
	11.00	136,58	225,23	0,94	87,02	225,50	0,95
	13.00	126,37	224,27	0,96	84,16	227,00	0,95
	15.00	132,78	225,30	0,95	84,19	224,67	0,96
	17.00	47,75	225,77	0,93	74,41	225,67	0,96
	19.00	44,57	225,77	0,92	71,15	225,67	0,94
	21.00	42,12	223,87	0,94	46,30	224,00	0,96
23.00	39,80	223,00	0,93	30,54	225,67	0,96	
Sabtu 09/03/19	01.00	40,97	224,67	0,93	30,72	224,67	0,95
	03.00	36,78	225,67	0,93	30,71	225,00	0,95
	05.00	40,09	225,67	0,92	31,63	225,00	0,95
	07.00	55,14	223,67	0,93	73,71	225,33	0,95
	09.00	103,62	225,67	0,93	72,33	224,33	0,94
	11.00	104,49	224,67	0,94	51,42	225,67	0,95
	13.00	100,19	225,00	0,94	76,41	225,00	0,95
	15.00	103,11	225,00	0,96	73,03	224,33	0,96
	17.00	44,36	225,33	0,95	72,60	226,00	0,93
	19.00	43,30	224,33	0,92	45,63	226,00	0,96
	21.00	40,56	225,67	0,94	24,12	226,00	0,96
23.00	40,95	225,00	0,93	24,11	225,33	0,96	
Minggu 10/03/19	01.00	35,29	224,33	0,93	26,32	225,67	0,96
	03.00	35,28	225,00	0,93	25,83	226,33	0,95
	05.00	36,97	225,67	0,92	29,06	225,00	0,95
	07.00	58,58	225,00	0,93	25,00	226,33	0,96

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA 233 dan AA 235 (lanjutan)

Hari / Tanggal	Waktu	AA 233			AA 235		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
	09.00	81,54	226,33	0,93	28,00	226,33	0,96
	11.00	78,77	225,00	0,94	26,34	224,33	0,94
	13.00	67,59	225,00	0,96	25,64	226,67	0,96
	15.00	76,97	226,00	0,95	27,37	227,33	0,96
	17.00	41,96	225,67	0,93	29,33	227,00	0,94
	19.00	49,90	224,67	0,92	30,63	225,67	0,96
	21.00	44,15	225,00	0,94	32,86	225,00	0,96
	23.00	44,08	225,00	0,93	27,21	224,33	0,96

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA 249 dan AA 449

Hari / Tanggal	Waktu	AA 249			AA 449		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
Senin 04/03/19	01.00	13,06	232,33	0,95	3,75	232,33	0,94
	03.00	11,09	233,00	0,96	3,53	231,00	0,95
	05.00	22,18	233,33	0,95	4,37	232,33	0,94
	07.00	50,49	232,00	0,96	12,71	232,33	0,96
	09.00	96,16	232,67	0,96	56,98	231,33	0,96
	11.00	97,96	233,67	0,96	63,05	231,90	0,97
	13.00	92,16	233,33	0,97	43,20	232,33	0,96
	15.00	98,49	231,87	0,96	8,42	230,77	0,96
	17.00	32,84	233,23	0,96	5,67	231,50	0,95
	19.00	30,49	233,33	0,94	5,17	234,00	0,94
	21.00	25,81	233,60	0,93	5,29	232,00	0,95
	23.00	13,92	233,23	0,96	4,04	232,67	0,94
Selasa 05/03/19	01.00	13,23	232,33	0,96	3,51	232,33	0,95
	03.00	11,00	231,00	0,97	3,63	233,67	0,96
	05.00	23,77	232,33	0,95	4,27	233,67	0,95
	07.00	59,44	232,33	0,96	13,31	232,27	0,97
	09.00	110,62	230,33	0,96	58,37	233,20	0,97
	11.00	102,37	231,90	0,96	61,97	233,90	0,99
	13.00	104,73	228,93	0,97	43,01	233,97	0,98

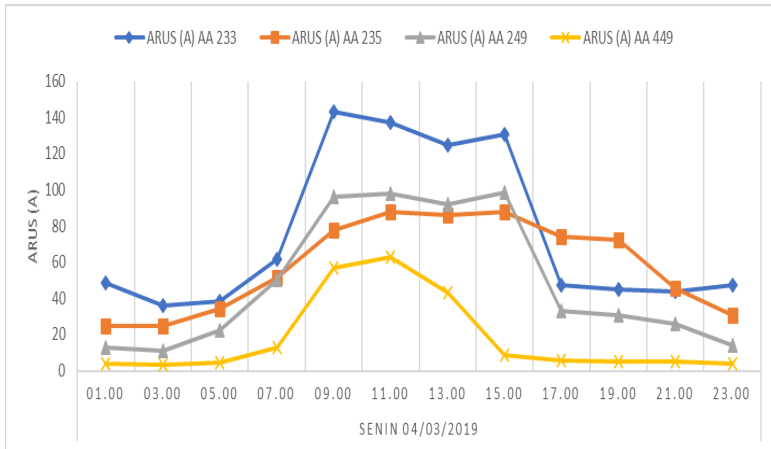
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA 249 dan AA 449
(lanjutan)

Hari / Tanggal	Waktu	AA 249			AA 449		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
	15.00	105,77	230,77	0,97	8,12	232,07	0,98
	17.00	31,43	231,50	0,94	5,57	233,23	0,96
	19.00	22,53	234,00	0,94	5,13	233,33	0,95
	21.00	25,23	231,67	0,92	5,25	233,60	0,96
	23.00	13,08	232,67	0,96	4,02	233,23	0,94
Rabu 06/03/19	01.00	14,45	232,33	0,95	3,86	233,33	0,95
	03.00	11,94	231,33	0,96	3,64	232,33	0,94
	05.00	25,41	232,33	0,95	4,47	232,33	0,96
	07.00	52,11	231,67	0,96	12,99	232,00	0,96
	09.00	98,97	231,33	0,96	57,34	232,33	0,97
	11.00	96,14	232,00	0,96	64,58	232,33	0,96
	13.00	95,84	230,00	0,97	43,55	234,00	0,96
	15.00	96,46	231,00	0,96	9,62	231,67	0,95
	17.00	33,55	231,67	0,96	6,14	232,67	0,94
	19.00	29,82	233,67	0,94	5,41	232,67	0,95
	21.00	25,44	232,00	0,93	5,53	231,00	0,94
23.00	16,47	233,33	0,96	4,00	232,67	0,94	
Kamis 07/03/19	01.00	13,20	232,33	0,95	3,63	232,67	0,96
	03.00	11,17	231,67	0,96	3,55	233,33	0,97
	05.00	23,19	232,33	0,95	4,38	232,00	0,96
	07.00	55,01	232,00	0,96	13,18	233,33	0,96
	09.00	103,47	231,33	0,96	58,22	233,33	0,95
	11.00	100,37	232,67	0,96	65,93	231,33	0,94
	13.00	98,47	231,00	0,97	44,10	233,67	0,95
	15.00	102,16	231,00	0,96	8,64	234,33	0,94
	17.00	31,96	232,00	0,96	5,77	234,00	0,94
	19.00	26,47	233,33	0,94	5,30	232,67	0,95
	21.00	25,41	232,33	0,93	5,50	232,00	0,94
23.00	13,53	233,00	0,96	4,04	231,33	0,96	
Jumat 08/03/19	01.00	13,47	233,33	0,95	3,66	231,67	0,96
	03.00	11,11	232,33	0,96	3,54	232,00	0,97
	05.00	23,50	232,33	0,95	4,32	232,00	0,96
	07.00	47,42	232,00	0,96	13,14	232,33	0,96

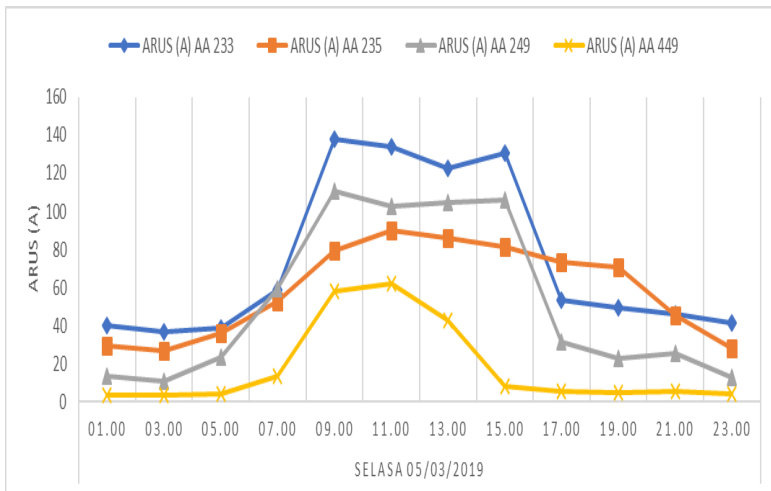
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Beban Transformator AA 249 dan AA 449
(lanjutan)

Hari / Tanggal	Waktu	AA 249			AA 449		
		Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ	Arus (A)	Teg (V)	Cos Φ
	09.00	85,45	232,33	0,96	59,31	231,33	0,94
	11.00	86,14	232,33	0,96	64,17	232,67	0,96
	13.00	89,28	234,00	0,97	43,64	232,00	0,97
	15.00	101,10	231,67	0,96	8,46	231,33	0,96
	17.00	35,23	232,67	0,96	5,66	233,00	0,96
	19.00	33,67	232,67	0,94	5,21	233,00	0,95
	21.00	25,66	231,00	0,93	5,40	233,00	0,94
	23.00	14,29	232,67	0,96	4,01	232,33	0,95
Sabtu 09/03/19	01.00	14,69	231,67	0,95	3,43	233,33	0,94
	03.00	12,56	232,00	0,96	3,45	232,33	0,94
	05.00	26,11	232,00	0,95	4,24	233,33	0,97
	07.00	63,40	232,33	0,96	12,98	232,67	0,96
	09.00	99,01	231,33	0,96	58,22	232,33	0,96
	11.00	66,71	232,67	0,96	64,70	233,00	0,95
	13.00	90,01	232,00	0,97	43,49	231,00	0,94
	15.00	101,87	231,33	0,96	20,55	232,00	0,95
	17.00	33,92	233,00	0,96	6,02	232,67	0,94
	19.00	28,77	233,00	0,94	5,15	234,67	0,94
	21.00	26,05	233,00	0,93	5,34	233,00	0,94
23.00	14,33	232,33	0,96	3,98	234,33	0,95	
Minggu 10/03/19	01.00	13,50	232,67	0,95	5,31	232,33	0,94
	03.00	11,03	233,33	0,96	4,48	231,00	0,94
	05.00	20,50	232,00	0,95	4,58	232,33	0,97
	07.00	14,77	233,33	0,96	4,70	232,33	0,96
	09.00	12,61	233,33	0,96	5,78	230,33	0,96
	11.00	13,23	231,33	0,96	5,93	232,00	0,95
	13.00	13,37	233,67	0,97	5,28	229,67	0,96
	15.00	14,14	234,33	0,96	4,89	230,87	0,95
	17.00	13,16	234,00	0,96	8,30	231,33	0,94
	19.00	23,06	232,67	0,94	5,52	234,00	0,95
	21.00	25,01	232,00	0,93	5,00	231,67	0,94
	23.00	15,87	231,33	0,96	4,10	232,67	0,94

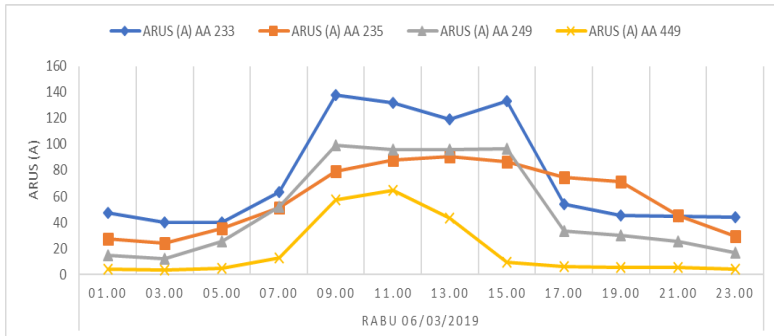
Selanjutnya, untuk mempermudah dalam menganalisis data, beban transformator akan ditampilkan dalam bentuk kurva.



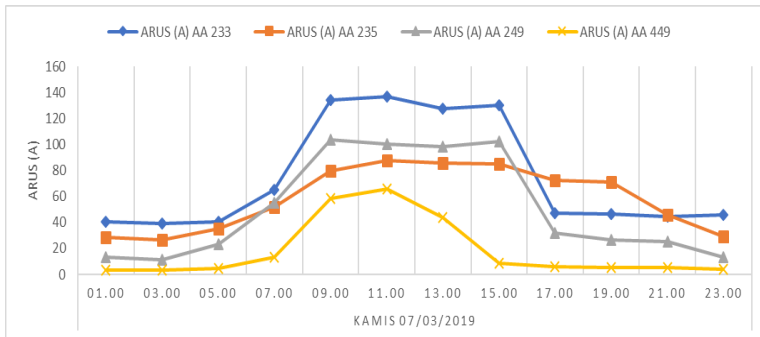
Gambar 4.1 Kurva Beban Harian, Senin 04/03/19



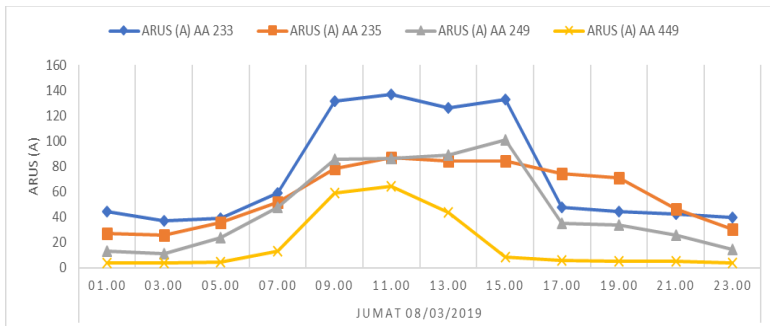
Gambar 4.2 Kurva Beban Harian, Selasa 05/03/19



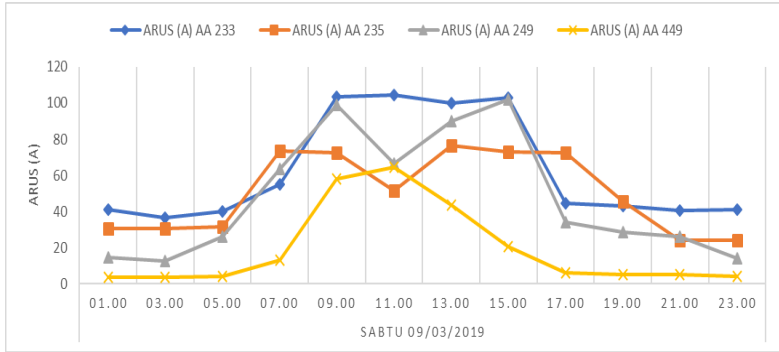
Gambar 4.3 Kurva Beban Harian, Rabu 06/03/19



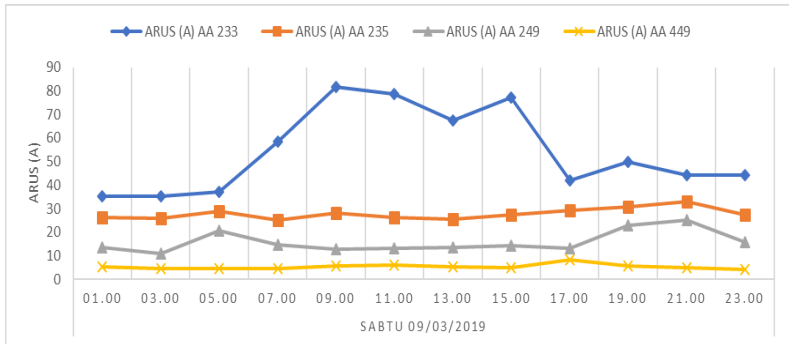
Gambar 4.4 Kurva Beban Harian, Kamis 07/03/19



Gambar 4.5 Kurva Beban Harian, Jumat 08/03/19



Gambar 4.6 Kurva Beban Harian, Sabtu 09/03/19



Gambar 4.6 Kurva Beban Harian, Minggu 10/03/19

Berdasarkan data pengukuran beban transformator tersebut dapat dihitung persentase beban dan karakteristik beban transformator pada masing-masing gardu. Persentase beban diperoleh berdasarkan beban rata-rata dan beban puncak transformator. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan kapasitas transformator sebelum *uprating* dan setelah *uprating*, sehingga diperoleh persentase pembebanan. Untuk transformator dengan persentase diatas 80% dikategorikan sebagai *Over Load* dan transformator dibawah 40% dikategorikan sebagai transformator *Under Load*.

Berikut ini merupakan tabel persentase beban dan kondisi beban transformator.

Tabel 4.3 Pembebanan Transformator Uji

Trafo/ Kapasitas	BEBAN ARUS (A)		PERSENTASE (%)	KONDISI
AA 233 (250 KVA)	Puncak	142,99	38,65	<i>Under Load</i>
	Rata-Rata	68,11	18,40	<i>Under Load</i>
AA 235 (250 KVA)	Puncak	90,77	24,57	<i>Under Load</i>
	Rata-Rata	51,35	13,88	<i>Under Load</i>
AA 249 (250 KVA)	Puncak	110,62	30,54	<i>Under Load</i>
	Rata-Rata	43,27	11,94	<i>Under Load</i>
AA 449 (250 KVA)	Puncak	65,93	18,39	<i>Under Load</i>
	Rata-Rata	16,09	4,47	<i>Under Load</i>

4.2. Hasil Perhitungan Susut Transformator

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai susut daya yang terjadi pada transformator. Perhitungan susut dilakukan dengan dua metode yaitu metode *Energy Load Flow* dan metode *Loss Factor*. Perhitungan susut ini akan dilakukan pada gardu distribusi dengan kapasitas transformator sebelum dan sesudah dilakukan *uprating* transformator.

4.2.1. Metode *Energy Load Flow*

Pada metode ini digunakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran beban transformator yang kemudian dibagi menjadi beberapa interval. Pembagian interval ini didasarkan pada bentuk kurva beban harian. Kurva beban harian menunjukkan bahwa beban terbesar terjadi pada rentan waktu 08.00 – 16.00, kemudian menurun pada rentan waktu berikutnya yaitu pukul 16.00 – 24.00, selanjutnya beban juga akan cenderung menurun dan mengalami beban terendah pada rentan waktu 00.00 – 08.00. Berdasarkan keadaan tersebut, kurva beban harian dibagi menjadi 3 interval. Interval pertama terjadi pada pukul 00.00 – 08.00, interval kedua pukul 08.00 – 16.00 dan interval ketiga 16.00 – 24.00. Data interval beban tersebut dapat dilihat dilampiran.

Susut transformator akan dihitung pada setiap gardu, dengan mengacu pada dua keadaan yaitu sebelum dan setelah *uprating* transformator. Dari metode *Energy Load Flow* diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Susut setelah *Uparating* Transformator

Hari / Tanggal	Interval	Susut Transformator (Watt)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Senin 04/03/19	1	462,81	443,14	431,98	420,79
	2	777,29	564,62	609,53	459,11
	3	462,87	482,34	433,65	420,54
Selasa 05/03/19	1	458,13	446,46	434,67	420,82
	2	764,55	562,27	644,88	459,60
	3	465,56	480,20	430,88	420,54
Rabu 06/03/19	1	465,99	444,27	433,48	420,83
	2	760,17	569,91	606,29	461,05
	3	464,96	481,92	433,89	420,59
Kamis 07/03/19	1	463,16	445,46	433,23	420,82
	2	772,37	564,60	625,88	462,10
	3	462,80	480,47	431,93	420,57
Jumat 08/03/19	1	460,97	444,54	431,66	420,81
	2	768,48	560,33	587,06	461,01
	3	457,90	482,11	434,97	420,55
Sabtu 09/03/19	1	457,46	454,85	436,21	420,78
	2	632,24	513,38	573,67	466,60
	3	455,89	454,98	432,69	420,57
Minggu 10/03/19	1	454,58	434,24	424,27	420,48
	2	537,06	434,59	423,41	420,63
	3	460,67	438,13	427,15	420,70

Tabel 4.5 Data Susut Sebelum *Uparating* Transformator

Hari / Tanggal	Interval	Susut Transformator (Watt)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Senin 04/03/19	1	376,01	341,08	248,66	301,41
	2	934,39	556,78	821,65	369,44
	3	376,12	410,69	254,05	300,97
Selasa 05/03/19	1	367,70	346,97	257,34	301,46
	2	911,77	552,60	935,76	370,32
	3	380,90	406,89	245,11	300,95

Tabel 4.5 Data Susut Sebelum *Uparating* Transformator

Hari / Tanggal	Interval	Susut Transformator (Watt)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Rabu 06/03/19	1	381,65	343,10	253,49	301,48
	2	903,99	566,17	811,20	372,88
	3	379,84	409,94	254,82	301,05
Kamis 07/03/19	1	376,64	345,21	252,70	301,46
	2	925,65	556,74	874,44	374,76
	3	376,00	407,37	248,50	301,01
Jumat 08/03/19	1	372,74	343,57	247,62	301,44
	2	918,74	549,17	749,14	372,81
	3	367,29	410,29	258,31	300,98
Sabtu 09/03/19	1	366,51	361,88	262,30	301,38
	2	676,85	465,80	705,95	382,74
	3	363,72	362,10	250,94	301,01
Minggu 10/03/19	1	361,40	325,28	223,77	300,86
	2	507,85	325,90	220,99	301,12
	3	372,21	332,20	233,07	301,25

Dari susut daya yang diperoleh, selanjutnya akan digunakan untuk menghitung susut energi yang terjadi dalam waktu satu bulan. Total susut energi yang terjadi pada masing-masing transformator ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Susut Energi Transformator dengan Metode *Energy Load Flow*

	Aliran Energi (Kwh)	Susut (KWh)		Persentase	
		Sebelum <i>Uparating</i>	Setelah <i>Uparating</i>	Sebelum <i>Uparating</i>	Setelah <i>Uparating</i>
AA 233	32119,29	380,901	401,29720	1,19 %	1,25 %
AA 235	24549,93	304,20820	358,10382	1,24 %	1,46 %
AA 249	21323,51	304,37738	358,38172	1,43 %	1,68 %
AA 449	7973,59	238,62247	321,16594	2,99 %	4,03 %

4.2.2. Metode *Loss Factor*

Dalam melakukan perhitungan susut transformator dengan metode *loss factor*, digunakan susut transformator saat terjadi beban puncak

sebagai acuan. Susut energi transformator kemudian diestimasi dengan menggunakan data *load factor* pada transformator yang selanjutnya digunakan untuk menghitung *loss factor*.

Berikut ini merupakan data hasil perhitungan *load factor* dan *loss factor* pada masing-masing transformat yang diuji.

Tabel 4.7 *Load Factor* dan *Loss Factor*

TRANSFORMATOR	LOAD FACTOR	LOSS FACTOR
AA 233	0,476	0,277
AA 235	0,566	0,369
AA 249	0,391	0,201
AA 449	0,244	0,096

Dari hasil perhitungan susut daya transformator dengan menggunakan metode *loss factor* diperoleh susut energi transformator dalam satu bulan, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.8 Susut Energi Transformator dengan Metode *Loss Factor*

	Aliran Energi (Kwh)	Susut (KWh)		Persentase	
		Sebelum Uprating	Setelah Uprating	Sebelum Uprating	Setelah Uprating
AA 233	32119,29	372,97247	396,83185	1,16 %	1,24 %
AA 235	24549,93	303,52890	357,72124	1,24 %	1,46 %
AA 249	21323,51	291,23248	350,85063	1,37 %	1,65 %
AA 449	7973,59	234,93293	319,08799	2,95 %	4,00 %

4.2.3. Simulasi *Load Flow* Digsilent

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai susut transformator dengan metode analisis *load flow* pada *software* Digsilent. Penggunaan aplikasi ini diharapkan mampu memberikan hasil perhitungan susut yang lebih spesifik dan lebih akurat daripada perhitungan susut dengan metode *load factor* dan *loss factor*. Berikut ini merupakan nilai susut daya pada transformator berdasarkan simulasi aliran daya dengan Digsilent Power Factory 15.1

Tabel 4.9 Susut Energi Transformator dengan Simulasi *Load Flow* Digsilent Power Factory 15.1

	Aliran Energi (Kwh)	Susut (KWh)		Persentase	
		Sebelum <i>Uprating</i>	Setelah <i>Uprating</i>	Sebelum <i>Uprating</i>	Setelah <i>Uprating</i>
AA 233	32119,29	388,55824	406,73504	1,21 %	1,27 %
AA 235	24549,93	302,26248	360,57688	1,23 %	1,47 %
AA 249	21323,51	312,46176	369,85520	1,47 %	1,73 %
AA 449	7973,59	234,51352	318,45384	2,94 %	3,99 %

4.3. Perbandingan dan Pembahasan Metode Perhitungan Susut Transformator

Pada sub-bab ini, data susut energi sebelum dan setelah *uprating* transformator yang telah diperoleh dari setiap metode perhitungan dibandingkan. Berikut ini merupakan perbandingan susut transformator sebelum dan setelah *uprating* transformator.

Tabel 4.10 Perbandingan Susut sebelum dan setelah *Uprating* Transformator

	Perbandingan Susut (KWh)		
	Energy Load Flow	Loss Factor Analysis	Digsilent
AA 233	20,3962	23,85938	18,1768
AA 235	53,89562	54,19234	58,3144
AA 249	54,00434	59,6181	57,39344
AA 449	82,54347	84,15506	83,94032

Tabel 4.11 Persentase Perbandingan Susut sebelum dan setelah *Uprating* Transformator

	Persentase Perbandingan Susut		
	Energy Load Flow	Loss Factor Analysis	Digsilent
AA 233	5,35 %	6,40 %	4,68 %
AA 235	17,72 %	17,85 %	19,29 %
AA 249	17,74 %	20,47 %	18,37 %
AA 449	34,59 %	35,82 %	35,79 %

Hasil perhitungan dari setiap metode menunjukkan bahwa terdapat

peningkatan susut transformator setelah dilakukan *uprating* transformator.

Setelah memperoleh data susut transformator, dilakukan perbandingan nilai susut yang diperoleh dari metode *Energy Load Flow* dan *Loss Factor Analysis* dengan susut yang diperoleh dari simulasi Load Flow pada Digsilent.

Tabel 4.12 Perbandingan Metode perhitungan susut Tranformator (sebelum *uprating*)

	<i>Energy Load Flow</i> (Wh)	<i>Loss Factor Analysis</i> (Wh)	Digsilent (Wh)	<i>Error Energy Load Flow</i>	<i>Error Loss Factor Analysis</i>
AA 233	380901,00	372972,47	388558,24	1,97%	4,01%
AA 235	304208,20	303528,90	302262,48	0,64%	0,42%
AA 249	304377,38	291232,48	312461,76	2,59%	6,79%
AA 449	238622,47	234932,93	234513,52	1,75%	0,18%

Tabel 4.13 Perbandingan Metode perhitungan susut Tranformator (setelah *uprating*)

	<i>Energy Load Flow</i> (Wh)	<i>Loss Factor Analysis</i> (Wh)	Digsilent (Wh)	<i>Error Energy Load Flow</i>	<i>Error Loss Factor Analysis</i>
AA 233	401297,20	396831,85	406735,04	1,34%	2,43%
AA 235	358103,82	357721,24	360576,88	0,69%	0,79%
AA 249	358381,72	350850,63	369855,20	3,10%	5,14%
AA 449	321165,94	319087,99	318453,84	0,85%	0,20%

Dari perbandingan tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai susut (*error*) pada setiap metode, yang berada pada rentang 0,42 % - 6,79 % sebelum *uprating* transformator dan 0,69% - 5,14% setelah *uprating* transformator. Hal ini dapat terjadi karena pada simulasi Digsilent nilai tegangan yang digunakan adalah nilai tegangan pada sistem yang diperoleh berdasarkan pemodelan sistem distribusi. Sementara pada metode Energy load flow dan Loss Factor Analysis, tegangan yang digunakan adalah tegangan hasil pengukuran lapangan.

4.4. Estimasi Kapasitas Daya Transformator

Setelah memperoleh nilai susut sebelum dan setelah dilakukan *uprating* transformator, diperoleh fakta bahwa terjadi peningkatan susut daya setelah dilakukan *uprating* transformator. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa terjadi ketidaksesuaian kapasitas daya transformator dengan beban yang dilayani transformator tersebut. Untuk itu pada sub-bab ini akan dibahas mengenai kapasitas transformator yang tepat digunakan pada gardu distribusi.

Pada tugas akhir ini, penentuan kapasitas transformator dilakukan dengan mengacu pada dua kondisi beban, yaitu beban aktual dan beban ramalan. Berikut ini merupakan kapasitas daya transformator yang dapat ditentukan dengan mengacu pada beban aktual transformator dan beban ramalan.

Tabel 4.14 Kapasitas Transformator Berdasarkan Beban Aktual

Trafo/ Kapasitas	BEBAN ARUS (A)		PERSENTASE	KONDISI
AA 233 (160 KVA)	Puncak	142,99	60,40 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	68,11	28,77 %	<i>Under Load</i>
AA 235 (100 KVA)	Puncak	90,77	61,43 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	51,35	34,75 %	<i>Under Load</i>
AA 249 (100 KVA)	Puncak	110,62	76,37 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	43,27	29,87 %	<i>Under Load</i>
AA 449 (100 KVA)	Puncak	65,93	45,96 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	16,09	11,22 %	<i>Under Load</i>

Tabel 4.15 Kapasitas Transformator Berdasarkan Beban Ramalan

Trafo/ Kapasitas	BEBAN ARUS (A)		PERSENTASE	KONDISI
	Puncak	Rata-Rata		
AA 233 (200 KVA)	Puncak	215,11	72,69 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	102,46	34,62 %	<i>Under Load</i>
AA 235 (160 KVA)	Puncak	136,55	57,76 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	77,25	32,67 %	<i>Under Load</i>
AA 249 (160 KVA)	Puncak	166,41	71,80 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	65,09	28,09 %	<i>Under Load</i>
AA 449 (100 KVA)	Puncak	99,18	69,14 %	<i>Normal</i>
	Rata-Rata	24,20	16,87 %	<i>Under Load</i>

Kemudian, berdasarkan kapasitas transformator yang telah ditetapkan, dilakukan perhitungan aliran energi dan susut energi transformator pada setiap gardu dengan metode *Loss Factor Analysis*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan susut transformator.

Tabel 4.16 Aliran Energi dan Susut Energi Transformator berdasarkan Kondisi Beban

	Aliran Energi (KWh)		Susut (KWh)		Persentase	
	Beban Aktual	Beban Ramalan	Beban Aktual	Beban Ramalan	Beban Aktual	Beban Ramalan
AA 233	32119,29	48121,49	372,97	519,78	1,16 %	1,08 %
AA 235	24549,93	37012,13	313,41	406,452	1,28 %	1,10 %
AA 249	21323,51	31940,48	291,23	377,093	1,37 %	1,18 %
AA 449	7973,59	11981,18	188,73	216,094	2,37 %	1,80 %

Susut yang diperoleh setelah dilakukan estimasi kapasitas transformator dibandingkan dengan susut transformator sebelum dilakukan estimasi kapasitas transformator (kondisi aktual). Berikut ini merupakan perbandingan nilai susut transformator sebelum dan setelah dilakukan estimasi kapasitas transformator.

Tabel 4.17 Perbandingan Susut Energi pada kapasitas Aktual dengan Kapasitas Estimasi

	AKTUAL	ESTIMASI	Perbandingan Susut	
	Susut (Wh)	Susut (Wh)	Susut (Wh)	Persentase (%)
AA 233	396831,85	372972,47	-23859,38	-6,01
AA 235	357721,24	313405,82	-44315,42	-12,39
AA 249	350850,63	291232,48	-59618,15	-16,99
AA 449	319087,99	188725,77	-130362,22	-40,85

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penurunan susut energi setelah dilakukan penyesuaian kapasitas transformator dengan nilai beban yang dipikul transformator tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pelaksanaan tugas akhir ini didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil pengukuran beban menunjukkan bahwa beban terbesar transformator uji terjadi pada interval ke 2, yaitu pada pukul 08.00 sampai 16.00.
- b. Terjadi peningkatan susut energi pada setiap gardu yang diuji setelah dilakukan *uprating* transformator. Pada gardu AA 233 terjadi peningkatan sebesar 4,68%, gardu AA 235 sebesar 19,29%, gardu AA 249 sebesar 18,37% dan AA 449 sebesar 35,79%.
- c. *Uprating* transformator yang dilakukan di PT PLN ULP Indrapura kurang tepat, karena menyebabkan transformator berada pada keadaan *under load* (beban dibawah 40%).
- d. Dengan menyesuaikan pembebanan berada pada keadaan normal atau mendekati normal, dapat menurunkan susut transformator pada gardu distribusi sebesar 6,01% pada gardu AA 233, 12,39% pada gardu AA 235, 16,99% pada gardu AA 249 dan 40,85% pada gardu AA 449.
- e. Berdasarkan perbandingan nilai susut pada metode *Energy Load Flow* dengan nilai susut pada simulasi Digsilent, diperoleh nilai *error* sebesar 0,64% sampai 2,59%, dan pada metode *Loss Factor Analysis* dengan simulasi Digsilent diperoleh nilai *error* sebesar 0,18% sampai 6,79%, sehingga metode *Energy Load Flow* dan *Loss Factor* pada percobaan ini sudah tepat.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis untuk pengembangan penelitian ini adalah:

- a. Diperlukan data pembebanan transformator yang lebih lengkap agar hasil perhitungan susut transformator lebih baik.
- b. Dalam menghitung nilai susut pada transformator distribusi, metode *loss factor analysis* lebih efisien digunakan mengingat banyaknya jumlah transformator pada sistem distribusi PT PLN.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, “Manajemen Trafo Indrapura,” Surabaya, 2018.
- [2] PT PLN (Persero), *Panduan Pengendalian Susut*, 2nd ed. Bandung, 2007.
- [3] S. Krishnamoorthy and D. Jayabal, “Evaluation of transformer loading and energy loss for increasing energy efficiency in distribution system,” in *ECTI-CON 2015 - 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2015.
- [4] A. Bozkurt, C. Kocatepe, R. Yumurtaci, Đ. C. Tastan, and G. Tulun, “Loss Analysis by Loading Conditions of Distribution Transformers,” *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Energy Power Eng.*, vol. 9, no. 8, pp. 869–872, 2015.
- [5] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 4th ed. Australia: Elizabeth A. Jones, 2005.
- [6] Keputusan Direksi PT PLN (Persero), *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. 2010.
- [7] Edaran Direksi PT PLN (Persero), *Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. 2014.
- [8] D. Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, 1st ed. Padang, 2009.
- [9] J. Dickert, M. Hable, and P. Schegner, “Energy Loss Estimation in Distribution Networks for Planning Purposes,” *2009 IEEE Bucharest PowerTech Innov. Ideas Towar. Electr. Grid Futur.*, pp. 1–6, 2009.
- [10] F. A. Razak and M. Shitan, “Load Forecasting Using Time Series Models,” *Kejuruteraan*, vol. 21, no. December, pp. 53–62, 2009.
- [11] D. Rohi, R. S. Arauna, and P. Ontoseno, “Aplikasi Pendekatan Aliran Daya untuk Estimasi Rugi-Rugi Energi Sistem Distribusi Radial 20 kV,” vol. II, no. 1, pp. 38–43, 2008.
- [12] R. Ferdinan and E. Marwan, “Analisis Pemilihan Trafo Distribusi Berdasarkan Biaya Rugi-rugi Daya Dengan Metode Nilai Tahunan,” 2015.
- [13] Standar PT PLN (Persero), *Spesifikasi Transformator Distribusi*. Indonesia, 2007.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

LAMPIRAN

Lampiran 1. Interval Harian Tranformator

Hari / Tanggal	Interval	Beban Transformator Rata – Rata (KWh)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Jumat 01/03/19	1	221,42	176,94	124,48	31,89
	2	678,09	424,65	474,95	230,01
	3	213,93	281,93	139,83	26,25
Sabtu 02/03/19	1	211,93	210,55	146,78	31,52
	2	513,97	343,66	455,53	249,14
	3	209,67	211,06	128,73	26,80
Minggu 03/03/19	1	203,61	135,27	75,31	24,76
	2	382,72	136,63	67,81	28,16
	3	221,61	152,50	96,62	29,71
Senin 04/03/19	1	230,86	174,48	126,18	32,22
	2	684,91	434,18	505,79	229,77
	3	230,80	286,32	133,51	26,65
Selasa 05/03/19	1	218,23	186,57	139,88	33,07
	2	670,17	430,64	551,86	234,93
	3	239,42	282,11	118,27	26,65
Rabu 06/03/19	1	239,66	179,46	133,82	33,20
	2	662,38	440,37	501,46	234,98
	3	238,05	285,57	134,67	27,75
Kamis 07/03/19	1	232,19	183,47	132,60	33,29
	2	677,73	437,99	527,17	234,27
	3	231,01	282,41	124,81	27,29
Jumat 08/03/19	1	226,00	179,78	124,46	33,08
	2	673,98	431,49	474,87	234,26
	3	218,35	286,47	139,81	26,99
Sabtu 09/03/19	1	216,31	213,94	146,75	32,10
	2	524,60	349,19	455,45	247,98
	3	214,01	214,46	128,70	27,12
Minggu 10/03/19	1	207,82	137,45	75,30	25,30
	2	390,63	138,83	67,80	28,98
	3	226,19	154,96	96,61	30,12
Senin 11/03/19	1	225,95	169,15	129,20	31,43
	2	670,36	420,92	517,92	224,37

Lampiran 1. Interval Harian Tranformator

Hari / Tanggal	Interval	Beban Transformator Rata – Rata (KWh)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
	3	225,89	277,57	136,71	26,03
Selasa 12/03/19	1	213,59	180,87	143,23	32,25
	2	655,93	417,48	565,09	227,99
	3	234,33	273,49	121,11	26,03
Rabu 13/03/19	1	234,57	173,97	138,45	32,31
	2	648,31	426,92	518,79	227,38
	3	232,99	276,85	139,32	27,09
Kamis 14/03/19	1	227,26	177,87	137,18	31,85
	2	663,33	424,61	545,39	221,99
	3	226,11	273,79	129,12	26,04
Jumat 15/03/19	1	221,20	174,29	127,48	31,69
	2	677,40	418,31	486,42	224,86
	3	213,71	277,72	143,21	25,80
Sabtu 16/03/19	1	211,71	207,41	150,32	30,56
	2	513,45	338,53	466,53	237,07
	3	209,46	207,91	131,84	25,71
Minggu 17/03/19	1	203,41	133,25	77,13	24,22
	2	382,33	134,59	69,45	27,94
	3	221,39	150,23	98,96	28,74
Senin 18/03/19	1	225,36	171,98	127,81	31,78
	2	668,60	427,96	512,37	226,94
	3	225,30	282,22	135,24	26,33
Selasa 19/03/19	1	213,03	183,90	141,70	32,62
	2	654,21	424,47	559,03	230,60
	3	233,72	278,07	119,81	26,33
Rabu 20/03/19	1	233,96	176,89	136,96	32,68
	2	646,61	434,07	513,23	229,98
	3	232,38	281,48	137,83	27,40
Kamis 21/03/19	1	226,66	180,85	135,71	32,53
	2	661,59	431,72	539,54	227,44
	3	225,51	278,37	127,74	26,68
Jumat 22/03/19	1	220,62	177,21	126,12	32,47
	2	675,62	425,31	481,20	230,42
	3	213,15	282,37	141,68	26,44

Lampiran 1. Interval Harian Tranformator

Hari / Tanggal	Interval	Beban Transformator Rata – Rata (KWh)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Sabtu 23/03/19	1	211,16	210,88	148,71	31,32
	2	512,10	344,19	461,52	242,93
	3	208,91	211,39	130,42	26,35
Minggu 24/03/19	1	202,87	135,48	76,30	24,82
	2	381,33	136,84	68,70	28,63
	3	220,81	152,74	97,89	29,45
Senin 25/03/19	1	222,55	171,19	126,69	31,19
	2	660,29	425,99	508,74	226,55
	3	222,50	280,92	134,07	25,72
Selasa 26/03/19	1	210,38	183,05	140,48	32,01
	2	646,08	422,52	555,10	230,20
	3	230,81	276,79	118,74	25,90
Rabu 27/03/19	1	231,05	176,07	135,78	32,81
	2	638,57	432,07	509,60	230,33
	3	229,49	280,19	136,64	27,52
Kamis 28/03/19	1	223,84	180,01	134,53	32,62
	2	653,37	429,73	535,74	227,78
	3	222,71	277,09	126,61	26,81
Jumat 29/03/19	1	217,87	176,40	125,00	32,56
	2	667,22	423,35	477,78	229,33
	3	210,50	281,07	140,46	26,57
Sabtu 30/03/19	1	208,53	209,91	147,46	31,35
	2	505,74	342,61	458,24	241,07
	3	206,32	210,42	129,29	26,46
Minggu 31/03/19	1	200,35	134,86	75,52	24,85
	2	376,58	136,21	67,97	28,72
	3	218,06	152,04	96,97	29,55
TOTAL (KWh)		32119,24	24549,94	21323,58	7973,63

Lampiran 2. Susut Setelah Uparating Transformator (*Energi Load Flow*)

Hari / Tanggal	Int	Susut Transformator (W)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Jumat 01/03/19	1	459,32	443,77	431,66	420,78
	2	772,74	555,92	587,11	459,19
	3	456,38	480,16	434,97	420,53
Sabtu 02/03/19	1	455,96	453,75	436,21	420,75
	2	623,73	510,44	573,72	464,54
	3	454,45	453,88	432,69	420,54
Minggu 03/03/19	1	453,19	433,79	424,27	420,46
	2	532,37	434,13	423,41	420,60
	3	459,04	437,56	427,15	420,67
Senin 11/03/19	1	461,01	441,75	432,56	420,75
	2	762,27	555,92	618,72	457,30
	3	461,07	478,59	434,31	420,52
Selasa 12/03/19	1	456,53	444,86	435,38	420,78
	2	750,06	553,71	655,79	457,30
	3	463,65	476,58	431,41	420,51
Rabu 13/03/19	1	464,05	442,81	434,42	420,79
	2	745,87	560,89	619,39	458,43
	3	463,07	478,20	434,87	420,57
Kamis 14/03/19	1	461,35	443,93	434,16	420,75
	2	757,55	555,90	640,36	457,80
	3	461,00	476,84	432,77	420,52
Jumat 15/03/19	1	459,24	443,06	432,23	420,74
	2	772,02	551,89	595,28	457,78
	3	456,31	478,38	435,71	420,50
Sabtu 16/03/19	1	455,89	452,75	437,00	420,71
	2	623,32	507,76	581,24	462,59
	3	454,38	452,87	433,31	420,51
Minggu 17/03/19	1	453,12	433,38	424,48	420,44
	2	532,14	433,71	423,57	420,59
	3	458,96	437,04	427,50	420,64
Senin 18/03/19	1	460,80	442,48	432,29	420,77
	2	760,47	560,50	614,48	458,15
	3	460,85	480,57	434,01	420,53
Selasa	1	456,33	445,70	435,05	420,80

Lampiran 2. Susut Setelah Uparating Transformator (*Energi Load Flow*)

Hari / Tanggal	Int	Susut Transformator (W)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
19/03/19	2	748,33	558,22	650,76	458,15
	3	463,42	478,49	431,16	420,52
Rabu 20/03/19	1	463,82	443,58	434,12	420,81
	2	744,16	565,65	615,14	459,32
	3	462,85	480,16	434,55	420,58
Kamis 21/03/19	1	461,13	444,74	433,86	420,78
	2	755,78	560,49	635,66	459,68
	3	460,79	478,75	432,50	420,54
Jumat 22/03/19	1	459,04	443,84	431,97	420,78
	2	770,18	556,34	591,54	459,67
	3	456,12	480,35	435,37	420,53
Sabtu 23/03/19	1	455,70	453,86	436,64	420,74
	2	622,25	510,72	577,80	464,72
	3	454,20	453,98	433,03	420,54
Minggu 24/03/19	1	452,95	433,83	424,38	420,47
	2	531,55	434,17	423,50	420,62
	3	458,75	437,62	427,34	420,67
Senin 25/03/19	1	459,79	442,27	432,08	420,74
	2	752,06	559,22	611,74	458,02
	3	459,85	480,01	433,76	420,51
Selasa 26/03/19	1	455,44	445,47	434,79	420,77
	2	740,22	556,95	647,53	458,02
	3	462,35	477,95	430,96	420,51
Rabu 27/03/19	1	462,74	443,37	433,87	420,81
	2	736,15	564,31	612,38	459,44
	3	461,79	479,61	434,30	420,58
Kamis 28/03/19	1	460,12	444,51	433,62	420,79
	2	747,49	559,20	632,63	459,80
	3	459,78	478,21	432,28	420,55
Jumat 29/03/19	1	458,07	443,62	431,76	420,79
	2	761,52	555,09	589,11	459,30
	3	455,22	479,79	435,11	420,54
Sabtu 30/03/19	1	454,82	453,55	436,36	420,74
	2	617,25	509,89	575,56	464,04

Lampiran 2. Susut Setelah Uparating Transformator (*Energi Load Flow*)

Hari / Tanggal	Int	Susut Transformator (W)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
	3	453,36	453,67	432,80	420,54
Minggu 31/03/19	1	452,14	433,71	424,29	420,47
	2	528,79	434,04	423,42	420,62
	3	457,80	437,46	427,20	420,68
Total Susut Daya (W)		50162,15	44762,98	44797,72	40145,74
Total Susut Energi (Wh)		401297,20	358103,82	358381,72	321165,94

Lampiran 3. Susut Sebelum *Uparating* Transformator (*Energi Load Flow*)

Hari / Tanggal	Int	Susut Transformator (Watt)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Jumat 01/03/19	1	369,82	342,20	247,63	301,38
	2	926,31	541,34	749,32	369,59
	3	364,59	406,82	258,33	300,94
Sabtu 02/03/19	1	363,85	359,93	262,32	301,32
	2	661,74	460,59	706,11	379,08
	3	361,17	360,15	250,95	300,96
Minggu 03/03/19	1	358,93	324,49	223,77	300,82
	2	499,51	325,09	220,99	301,07
	3	369,31	331,18	233,07	301,19
Senin 11/03/19	1	372,81	338,61	250,54	301,34
	2	907,72	541,33	851,33	366,22
	3	372,92	404,03	256,19	300,92
Selasa 12/03/19	1	364,85	344,15	259,63	301,39
	2	886,05	537,41	970,97	366,22
	3	377,50	400,46	246,81	300,91
Rabu 13/03/19	1	378,22	340,51	256,55	301,40
	2	878,60	550,16	853,49	368,24
	3	376,48	403,33	257,97	301,00
Kamis 14/03/19	1	373,42	342,49	255,70	301,33
	2	899,35	541,30	921,17	367,12

Lampiran 3. Susut Sebelum *Uparating* Transformator (*Energi Load Flow*)

Hari / Tanggal	Int	Susut Transformator (Watt)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
	3	372,81	400,91	251,20	300,92
Jumat 15/03/19	1	369,68	340,95	249,47	301,32
	2	925,03	534,18	775,69	367,09
	3	364,46	403,65	260,69	300,90
Sabtu 16/03/19	1	363,72	358,16	264,88	301,25
	2	661,00	455,82	730,37	375,62
	3	361,04	358,37	252,95	300,91
Minggu 17/03/19	1	358,82	323,76	224,45	300,79
	2	499,11	324,34	221,53	301,04
	3	369,17	330,26	234,20	301,14
Senin 18/03/19	1	372,44	339,91	249,67	301,37
	2	904,54	549,47	837,65	367,74
	3	372,54	407,54	255,20	300,94
Selasa 19/03/19	1	364,51	345,64	258,57	301,42
	2	882,98	545,42	954,74	367,74
	3	377,10	403,85	246,03	300,93
Rabu 20/03/19	1	377,81	341,87	255,56	301,43
	2	875,57	558,60	839,76	369,81
	3	376,08	406,82	256,95	301,03
Kamis 21/03/19	1	373,03	343,93	254,73	301,39
	2	896,21	549,44	906,00	370,46
	3	372,43	404,32	250,33	300,96
Jumat 22/03/19	1	369,31	342,33	248,63	301,39
	2	921,76	542,09	763,62	370,44
	3	364,13	407,15	259,61	300,94
Sabtu 23/03/19	1	363,38	360,12	263,71	301,32
	2	659,11	461,08	719,27	379,40
	3	360,73	360,34	252,04	300,95
Minggu 24/03/19	1	358,51	324,56	224,14	300,83
	2	498,06	325,17	221,29	301,09
	3	368,81	331,28	233,68	301,19
Senin 25/03/19	1	370,64	339,55	248,98	301,32
	2	889,60	547,19	828,79	367,51
	3	370,75	406,55	254,42	300,90

Lampiran 3. Susut Sebelum *Uparating* Transformator (*Energi Load Flow*)

Hari / Tanggal	Int	Susut Transformator (Watt)			
		AA 233	AA 235	AA 249	AA 449
Selasa 26/03/19	1	362,92	345,22	257,74	301,37
	2	868,58	543,17	944,31	367,51
	3	375,19	402,90	245,39	300,90
Rabu 27/03/19	1	375,89	341,49	254,77	301,45
	2	861,35	556,23	830,88	370,03
	3	374,20	405,84	256,14	301,04
Kamis 28/03/19	1	371,23	343,52	253,95	301,40
	2	881,48	547,15	896,21	370,67
	3	370,64	403,36	249,62	300,97
Jumat 29/03/19	1	367,60	341,94	247,95	301,39
	2	906,40	539,87	755,77	369,78
	3	362,54	406,17	258,76	300,95
Sabtu 30/03/19	1	361,82	359,57	262,81	301,32
	2	650,24	459,61	712,04	378,19
	3	359,22	359,78	251,31	300,96
Minggu 31/03/19	1	357,06	324,34	223,85	300,83
	2	493,17	324,93	221,04	301,10
	3	367,11	330,99	233,24	301,20
Total Susut Daya (W)		47612,6	38026,03	38047,17	29827,81
Total Susut Energi (Wh)		380901,0	304208,20	304377,38	238622,47

BIOGRAFI PENULIS



M.A. Fernando Napitupulu atau sering dipanggil Fernando lahir di Parsoburan, 6 Agustus 1997. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis mengawali pendidikannya di bangku SD St Pius Parsoburan, kemudian dilanjutkan di SMP Kartini Parsoburan dan SMA Negeri 2 Balige. Pada tahun 2015, penulis diterima sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember tepatnya di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro. Selama di bangku kuliah, penulis menekuni bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selain itu juga, penulis aktif dalam kepanitiaan dan organisasi yang ada di dalam dan diluar kampus. Pada tahun terakhir, penulis mengikuti Program Mahasiswa Magang Bersertifikat (PMMB) di PT PLN sekaligus melakukan penelitian tugas akhir pada program magang tersebut. Penelitian tersebut kemudian diselesaikan di Lab. Simulasi Sistem Tenaga.

Email : fernando.napits61@gmail.com
Hp/WA : 085372616169
Line : m.a.fernando
Instagram : Fernando Napitupulu