



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

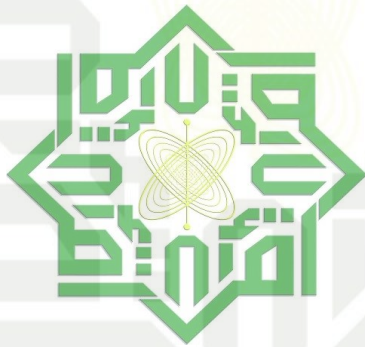
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASE DI PEYULANG
VENEUZELA ULP DURI TERHADAP NILAI RUGI-RUGI DAN
EFESIENSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi



Oleh :

MUHAMMAD FADLI PRATAMA
11655103706

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2023**



LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 3 FASE DI PEYULANG VENEUZELA ULP DURI
TERHADAP NILAI RUGI-RUGI DAN EFESIENSI**

TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD FADLI PRATAMA
11655103706

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 06 Juli 2023

Ketua Program Studi

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing I

Dr. Lilitana, S.T., M.Eng
NIP. 19781012 200312 2 004

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASE DI PEYULANG VENEUZELA ULP DURI TERHADAP NILAI RUGI-RUGI DAN EFESIENSI

TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD FADLI PRATAMA
11655103706

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 06 Juli 2023

Pekanbaru, 06 Juli 2023

Mengesahkan,

Ketua Program Studi

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP:19721021 200604 2 001

Dekan

Dr. Hartono, M.Pd.

NIP:19640301 199203 1 003

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Ahmad Faizal, S.T., M.T

Sekretaris I : Dr. Liliana, S.T., M.Eng

Anggota I : Marhama Jelita, S.Pd, M.Sc

Anggota II : Novi Gusnita, S.T., M.T



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran Surat :
 Nomor : 2023
 Tanggal : 19 Juli 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Fadli Pratama
 NIM : 11655103706
 Tempat/Tanggal Lahir : Duri, 20 September 1998
 Fakultas : Sains dan Teknologi
 Prodi : Teknik Elektro
 Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 3 Fase di Peyulang Venezuela ULP Duri Terhadap Nilai Rugi-Rugi dan Efisiensi

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian dan pemikiran saya sendiri.
2. Semua kutipan sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu skripsi saya ini, saya nyatakan bebas plagiat.
4. Apabila dikemudian hari ditemukan plagiat pada skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.
5. Dengan demikian surat ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

UIN SUSKA RIAU

Pekanbaru, 19 Juli 2023
 Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadli Pratama
 NIM. 11655103706



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia diperpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh tugas akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan tugas akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 06 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,

MUHAMMAD FADLI PRATAMA
NIM. 11655103706

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam tak lupa saya doakan untuk Nabi Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam yang telah mengajarkan kita sebagai umatnya akan pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari ridho Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah menjadi pelita dan menopang semangat hidup saya atas semua pengorbanan, doa, dan jerih payahnya agar saya dapat mencapai cita-cita. Adapun cita-cita saya kelak dapat membahagiakan keluarga tercinta. Kepada dosen pembimbing saya ucapkan terimakasih telah membimbing, membantu, menasehati, dan memberi saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai tepat pada waktunya.

Kepada dosen penguji terimakasih juga telah memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur. Rasa terimakasih juga saya ucapkan kepada rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani saya ketika suka maupun duka, memotivasi dan menginspirasi hingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda.

Aamin.

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASE DI PEYULANG VENEUZELA ULP DURI TERHADAP NILAI RUGI-RUGI DAN EFESIENSI

MUHAMMAD FADLI PRATAMA

11655103706

Tanggal Sidang : Juni 2023

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains Dan Teknologi

Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. HR. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (PERSERO) ULP Duri, pada penyulang Venezuela. Dimana pada penyulang tersebut terdapat transformator yang nilai ketidakseimbangannya cukup besar yaitu transformator DRI-361. Tujuan pada penelitian ini yaitu menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap nilai rugi-rugi internal dan efisiensi. Metode yang digunakan untuk menghitung ketidakseimbangan beban yaitu menggunakan metode simetris. Hasil ketidakseimbangan beban dari transformator DRI-361 adalah 36,3% , nilai arus netral adalah 26,5 A, total nilai rugi-rugi eksternal dan internal adalah 564,07 Watt, sedangkan persentase efisiensi adalah 75,6%. Berdasarkan persentase efisiensi tersebut pada saluran transformator DRI-361 dimana nilainya tidak bagus.

Kata kunci : Transformator, Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Rugi-rugi Eksternal dan Internal, Efisiensi.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF 3-PHASE DISTRIBUTION
TRANSFORMER LOAD UNBALANCE AT PEYULANG VENEUZELA
ULP DURI ON LOSS AND EFFICIENCY VALUES**

**MUHAMMAD FADLI PRATAMA
11655103706**

Date of Final Exam : June 2023

*Study Program Of Electrical Engineering
Faculty Of Science And Technology
State Islamic University Of Sultan Syaif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

This research was conducted at PT. PLN (PERSERO) ULP Duri, on Venezuelan feeders. When in the feeder there is a transformer whose imbalance value is quite large, namely the DRI-361 transformer. The purpose of this study is to analyze the effect of load imbalance on the value of internal losses and efficiency. The method used to calculate the load imbalance is using the symmetrical method. The load unbalance result of the DRI-361 transformer is 36.3%, the neutral current is 26.5 A, the total external and internal losses are 64.07 Watt, while the efficiency percentage is 75.6%. Based on the efficiency percentage on the DRI-361 transformer line where the value is not good.

Keywords: *Transformer, Load Unbalance, Neutral Current, External and Internal Losses, Efficiency.*

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

KATA PENGANTAR



Bismillahirrahmanirrahim

Assalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh
Alhamdulillah segala puji dan syukur selalu tercurah kehadiran Allah Swt atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat mengerjakan dan akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASE DI PEYULANG VENEUZELA ULP DURI TERHADAP NILAI RUGI-RUGI DAN EFESIENSI”** sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Shalawat beserta salam penulis hadiahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu A‘laihi Wassalam yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapat syafa’at dari beliau.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Papa dan mama tercinta yang telah memberikan doa, motivasi, dan dukungan serta moril, maupun materil demi keberhasilan penulis dalam meraih cita-cita.
2. Bapak Prof. Dr. KH. Hairunas, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, ST.,MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Sutoyo, ST.,MT, selaku Sekretaris Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT, selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.



- Hak Cipta Prindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Bapak Oktaf Brillian Kharisma, ST, MT, selaku Pembimbing akademik saya yang berjasa membimbing dan membina saya dengan penuh perhatian dan kesabaran.

2. Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi dalam memberikan arahan maupun kritikan kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro.

3. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT. selaku Ketua Sidang, Ibu Marhama Jelita, S.Pd, M.Sc, selaku Dosen Penguji I dan Ibu Novi Gusnita ST., MT, selaku dosen penguji II yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

10. Pimpinan, staff dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi.

11. Keluarga besar Himate Uin Suska yang telah memberikan banyak pengalaman berharga bagi saya.

12. Sahabat-sahabat terbaik senasib dan seperjuangan Rozi Zaputra, Julian Milano, Della indriyani, Bima alnur, Muhammad Ihsan Naruto, Rendi Santuy, Novri Aldy, Norpan Supra, Fikri Hidayah, serta orang – orang hebat yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, terimakasih atas bantuannya.

13. Siapa saja yang pernah bertanya “Kapan selesai kuliah??, Terimakasih itu menjadi penyemangat bagi saya untuk lebih giat lagi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun penulis harapkan agar laporan ini tersusun sesuai dengan yang diharapkan. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Pekanbaru, 06 Juli 2023

Penulis

Muhammad Fadli Pratama



DAFTAR ISI

COVER.....i

LEMBAR PERSETUJUAN.....ii

LEMBAR PENGESAHAN.....iii

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....iv

LEMBAR PERNYATAAN.....v

LEMBAR PERSEMBAHAN.....vi

ABSTRAK.....vii

ABSTRA.....viii

KATA PENGANTAR.....ix

DAFTAR ISI.....xii

DAFTAR GAMBAR.....xiv

DAFTAR TABEL.....xvi

DAFTAR RUMUS.....xvii

DAFTAR SINGKATAN.....xviii

BAB I PENDAHULUAN

 1.1 Latar BelakangI-1

 1.2 Rumusan Masalah.....I-4

 1.3 Tujuan PenelitianI-4

 1.4 Batasan Masalah.....I-4

 1.5 Manfaat PenelitianI-4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

 2.1 Penelitian Terkait.....II-1

 2.2 Landasan Teori.....II-3

 2.2.1 Transformator.....II-3

 2.2.2 Jaringan Distribusi.....II-6

 2.2.3 Pembebanan Pada Transformator Distribusi.....II-6

 2.2.4 Ketidakseimbangan Beban.....II-8

 2.2.4.1 Penyebab Ketidakseimbangan Beban.....II-9

 2.2.5 Metode Komponen Simetris.....II-10

 2.2.6 Arus Netral.....II-12

 2.2.7 Arus Netral Karena Beban Tidak Seimbang.....II-12

 2.2.8 Penyaluran dan Sudut Daya Pada Keadaan Arus Seimbang.....II-13

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.9	Penyaluran dan Sudut Daya Pada Keadaan Arus Tidak Seimbang.....	II-14
2.2.10	Perhitungan Pembebanan Transformator Distribusi.....	II-15
2.2.11	Perhitungan Ketidakseimbangan Beban.....	II-16
2.2.12	Perhitungan Losses (Rugi-Rugi) Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral dan Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah	II-17
2.2.13	Rugi – Rugi Transformator Tanpa Beban.....	II-17
2.2.14	Efisiensi Transformator.....	II-18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian.....	III-1
3.2	Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3	Tahapan Penelitian.....	III-1
3.3.1	Data Penelitian.....	III-3
3.3.2	Menghitung Ketidakseimbangan Beban	III-5
3.3.2.1	Menghitung Daya Terpakai.....	III-5
3.3.2.2	Menghitung Persentase Pembebanan.....	III-5
3.3.2.3	Menghitung Ketidakseimbangan Beban.....	III-5
3.3.3	Menghitung Arus Netral.....	III-5
3.3.4	Menghitung Rugi – Rugi Eksternal Transformator.....	III-5
3.3.5	Menghitung Rugi – Rugi Internal Transformator.....	III-5
3.3.6	Menghitung Efisiensi.....	III-6
3.3.7	Hasil dan Analisa.....	III-6

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Hasil dan Analisis Ketidakseimbangan Beban.....	IV-1
4.1.1	Menghitung Dana Terpakai.....	IV-1
4.1.2	Menghitung Persentase Beban Transformator.....	IV-1
4.1.3	Nilai Ketidakseimbangan Beban.....	IV-2
4.2	Hasil dan Analisis Arus Netral	IV-4
4.3	Hasil dan Analisis Rugi – Rugi Eksternal.....	IV-4
4.3.1	Rugi – Rugi Netral.....	IV-4
4.3.2	Rugi – Rugi Ground.....	IV-4
4.3.3	Rugi – Rugi Antar Fasa.....	IV-5
4.4	Hasil dan Analisis Rugi – Rugi Internal pada Transformator.....	IV-5



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.4.1 Rugi – Rugi Besi.....	IV-5
4.4.2 Rugi – Rugi Tembaga.....	IV-5
4.5 Hasil dan Analisis Efisiensi Transformator.....	IV-6
4.5.1 Total Rugi – Rugi Daya.....	IV-6
4.5.2 Nilai Efisiensi Transformator.....	IV-6

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran.....	V-1

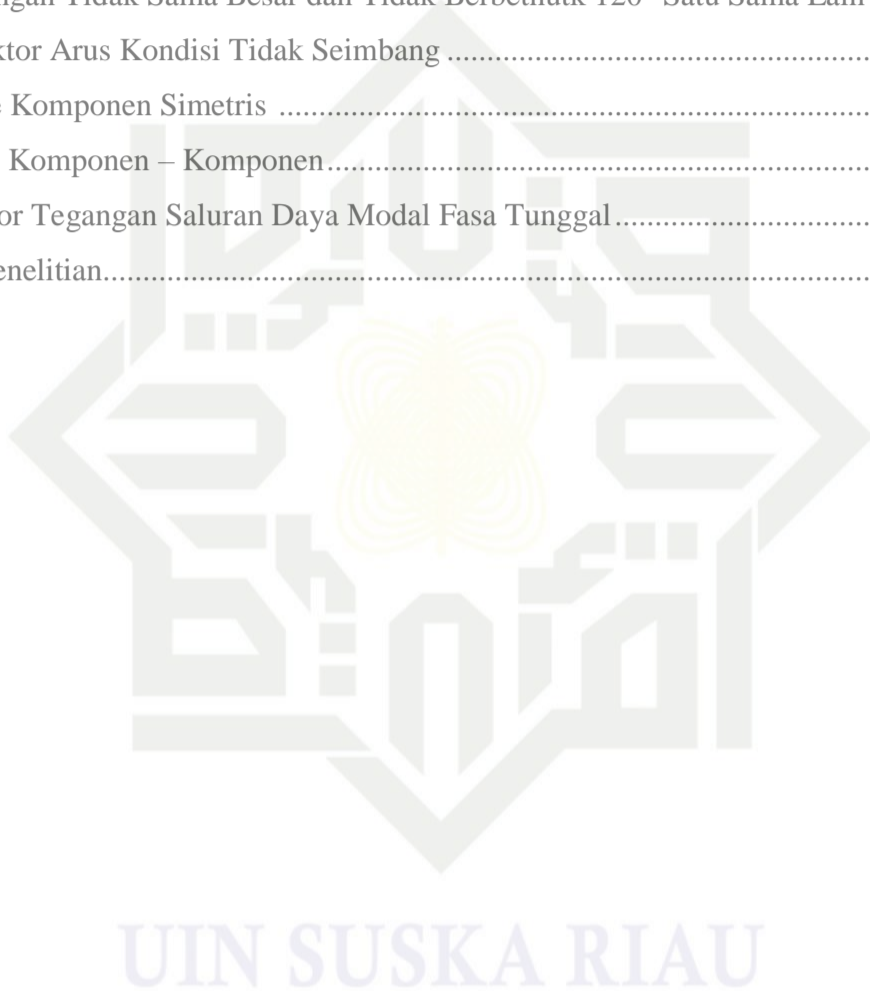
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Transformator Tipe Inti dan Tipe Cangkang.....	II-3
1.2 Prinsip Kerja Transformator	II-4
1.3 Vektor Tegangan Tidak Sama Besar dan Berbetnutk 120° Satu Sama Lain.....	II-6
1.4 Vektor Tegangan Tidak Sama Besar dan Tidak Berbetnutk 120° Satu Sama Lain	II-7
1.5 Diagram Vektor Arus Kondisi Tidak Seimbang	II-7
2.6 Representase Komponen Simetris	II-9
2.7 Penjumlahan Komponen – Komponen.....	II-9
2.8 Diagram Fasor Tegangan Saluran Daya Modal Fasa Tunggal.....	II-11
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	III-2



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

	Halaman
1.1 Susut Beban Nol dan Susut Beban Trafo Distribusi menurut SPLN No.50 1997.....	II-6
1.1 Data Transformator Distribusi DRI-361.....	III-2
1.2 Data SPLN No.50 Tahun 1987 Besaran Rugi – Rugi Besi dan Tembaga di Transformator	III-3
1.3 Data Beban yang ditanggung dari Setiap Transformator Distribusi pada Penyulang Vanezuela	III-3
1.4 Data Jarak Antara Transformator Distribusi Sisi Sekunder dan Sisi Beban Paling Ujung Pelanggan.....	III-4
2.1 Hasil Ketidakseimbangan	IV-3
2.2 Hasil Rugi – Rugi Eskternal	IV-4
2.3 Hasil Rugi – Rugi Internal.....	IV-4
2.4 Efisiensi Transformator	IV-5

© Hak cipta milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dimiliki Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
Persamaan 2.1	II-4
Persamaan 2.2	II-4
Persamaan 2.3	II-4
Persamaan 2.4	II-4
Persamaan 2.5	II-5
Persamaan 2.6	II-5
Persamaan 2.7	II-9
Persamaan 2.8	II-9
Persamaan 2.9	II-9
Persamaan 2.10	II-9
Persamaan 2.11	II-9
Persamaan 2.12	II-9
Persamaan 2.13	II-9
Persamaan 2.14	II-9
Persamaan 2.15	II-9
Persamaan 2.16	II-9
Persamaan 2.17	II-9
Persamaan 2.18	II-9
Persamaan 2.19	II-10
Persamaan 2.20	II-10
Persamaan 2.21	II-10
Persamaan 2.22	II-10
Persamaan 2.23	II-10
Persamaan 2.24	II-10
Persamaan 2.25	II-10
Persamaan 2.26	II-10
Persamaan 2.27	II-11
Persamaan 2.28	II-11
Persamaan 2.29	II-11
Persamaan 2.30	II-11
Persamaan 2.31	II-11
Persamaan 2.32	II-11
Persamaan 2.33	II-12
Persamaan 2.34	II-12
Persamaan 2.35	II-12
Persamaan 2.36	II-12
Persamaan 2.37	II-12
Persamaan 2.38	II-12

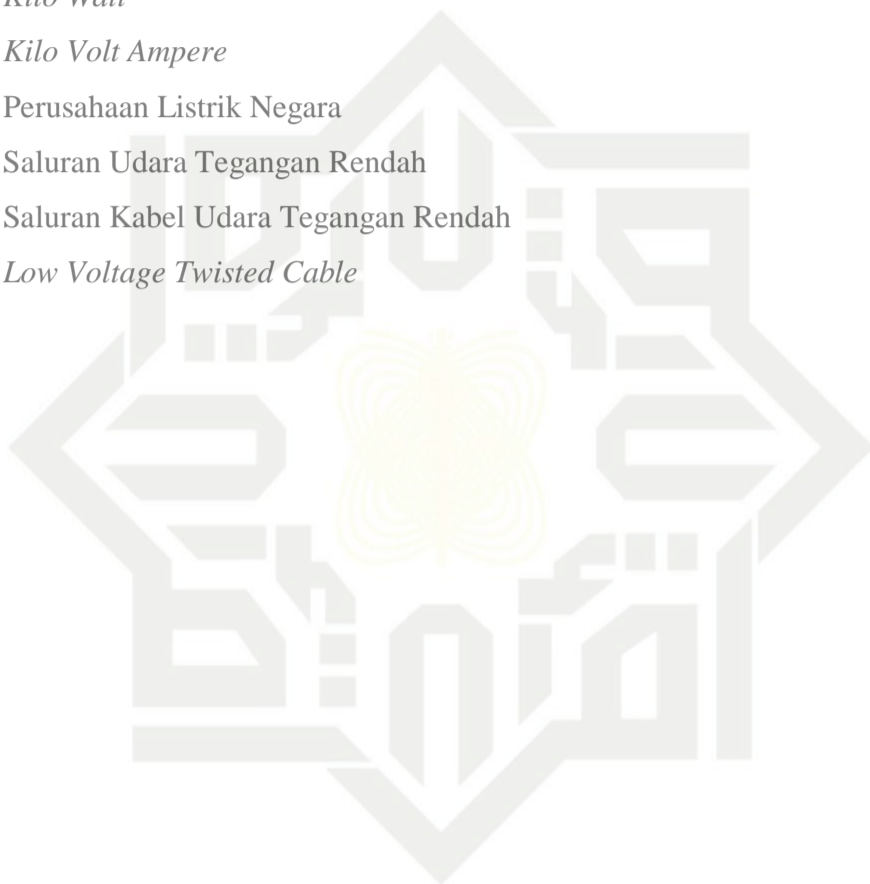
- Hak Cipta Ditanggungjawabkan oleh UIN Suska Riau
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Persamaan 2.39.....	II-12
Persamaan 2.40.....	II-12
Persamaan 2.41.....	II-12
Persamaan 2.42.....	II-12
Persamaan 2.43.....	II-12
Persamaan 2.44.....	II-12
Persamaan 2.45.....	II-13
Persamaan 2.46.....	II-13
Persamaan 2.47.....	II-13
Persamaan 2.48.....	II-13
Persamaan 2.49.....	II-13
Persamaan 2.50.....	II-13
Persamaan 2.51.....	II-13
Persamaan 2.52.....	II-14
Persamaan 2.53.....	II-14
Persamaan 2.54.....	II-14
Persamaan 2.55.....	II-14
Persamaan 2.56.....	II-14

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SINGKATAN

- = Waktu Beban Puncak
- = Waktu Luar Beban Puncak
- = *Kilo Volt*
- = *Kilo Watt*
- = *Kilo Volt Ampere*
- = Perusahaan Listrik Negara
- = Saluran Udara Tegangan Rendah
- = Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah
- = *Low Voltage Twisted Cable*



UIN SUSKA RIAU

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik sangat penting bagi setiap manusia di dunia. Menurut data dari statistik ketenagalistrikan 2022 bahwa konsumsi energi listrik sejak tahun 2013-2022 mengalami kenaikan pertumbuhan rata-rata 8,76 % [1]. Energi listrik disalurkan ke pelanggan menggunakan suatu sistem yang dinamakan sistem tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik berperan buat menyalurkan energi listrik diawali dari sistem pembangkit, kemudian ke sistem transmisi serta berakhir pada sistem distribusi [2]. Sistem distribusi ialah suatu sistem penyaluran listrik dari gardu induk ke konsumen atau pelanggan. Dan di mana sistem distribusi ini terbagi menjadi 2 dimana ada distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer biasanya penyaluran dari gardu induk (sisi sekunder trafo daya) menuju ke konsumen tegangan menengah 20 kv (sisi primer trafo distribusi) sedangkan sistem sekunder penyalurannya di mulai dari sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen atau pelanggan tegangan rendah [3].

Pada sistem distribusi terbagi beberapa penyulang- penyulang yang berguna untuk melayani pelanggan energi listrik yang berbeda daerah. Pada PT. PLN(PERSERO) bagian yang mengurus distribusi energi listrik ke pelanggan atau konsumen, ialah bagian dari Unit Layanan Pelanggan (ULP) [4]. Provinsi Riau sendiri ada berbagai ULP salah satunya ialah ULP Duri yang siap melayani sebagian pelanggan energi listrik yang terdapat di Provinsi Riau serta berpusat di Kota Duri. ULP Duri ditugaskan buat melayani 11 penyulang antara lain, Penyulang Maroko, Penyulang Venezuela, Mesir, Argentina, Kongo. Keseluruhan penyulang yang ada di ULP Duri menggunakan konfigurasi jaringan sistem radial dan konfigurasi jaringan sistem loop. Penyulang yang terdapat di ULP Duri memperoleh suplai energi listrik dari 2 pusat beban ialah dari GI (Gardu Induk) Duri dan GI (Gardu Induk) Balai Pungut [4].

Dalam usaha pemenuhan kebutuhan energi listrik ke konsumen, pasti akan terjadi yang namanya ketidakseimbangan beban. Dimana ketidakseimbangan beban ialah pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban diakibatkan waktu penyalaan beban yang tidak sama antara konsumen yang awal mulanya beban tersebut dipecah rata menyeluruh kepada tiap konsumen. Bagi standar SE PT. PLN

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Persero) Nomor: 0. 017. E/ DIR 20 ialah besar beban tidak boleh melalui dari 25% yang sudah ditetapkan [5].

Beban tidak seimbang di transformator terjadi pada fasa R, S, dan T akan mempengaruhi besarnya kecilnya arus netral yang mengalir. Arus netral adalah arus yang mengalir dari sisi netral pada sistem 3 fasa 4 kawat [6]. Arus netral dapat terjadi dikarenakan ketidakseimbangan beban antara fasa R,S dan T dan juga karena adanya arus harmonisa karena banyaknya penggunaan beban non linear. Arus netral yang tinggi juga dapat mempengaruhi transformator, dimana dapat menyebabkan panas yang berlebih pada transformator dan membuat penurunan kualitas daya. Ketika arus netral yang besar maka nilai rugi-rugi daya (losses) akan bertambah juga [7].

Rugi-rugi daya ditimbulkan lantaran adanya arus netral dalam penghantar netral transformator. Rugi-rugi daya tidak hanya terjadi dalam penghantar netral transformator, lantaran pada sisi internal transformator masih ada alat-alat yg bisa mengakibatkan rugi-rugi daya. Antara lain, rugi-rugi tembaga yang merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh adanya tahanan resistif yang dimiliki oleh tembaga pada bagian kumparan transformator, baik di sisi primer maupun di sisi sekunder [8]. Selanjutnya rugi-rugi besi yang terdiri atas rugi histeris dan rugi arus eddy. Besarnya rugi-rugi histeris bergantung pada jenis besi yang digunakan pada inti transformator. Sedangkan arus eddy adalah arus yang bersikulasi di dalam inti transformator [8].

Rugi eksternal adalah rugi yang terjadi di luar trafo. Rugi-rugi eksternal adalah rugi-rugi yang terjadi pada penghantar saluran ke konsumen. Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi disebabkan oleh hambatan, reaktansi, dan kapasitansi saluran distribusi. Nilai kapasitansi biasanya kecil dan dapat diabaikan. Rugi-rugi saluran dan transformator ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas daya dan tegangan yang dipasok ke pelanggan. Rugi-rugi daya juga akan mempengaruhi nilai dari efisiensi saluran. Efisiensi pada saluran distribusi adalah perbandingan antara besarnya daya listrik keluaran dengan daya listrik yang masuk pada saluran distribusi [9].

Berdasarkan wawancara dari pihak PLN dengan Abang Posman Sunaryo Nababan S.T sebagai Staff Teknik ULP Duri terdapat banyak transformator distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban, terutama di Penyulang Veneuzela daerah Kulim Duri. Pada Penyulang tersebut terdapat 14 transformator distribusi, yang mana diantaranya terdapat 12 transformator distribusi yang tidak seimbang dan 2 transformator distribusi yang seimbang.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Transformator distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban merugikan pihak PLN dan pihak konsumen. Berdasarkan wawancara sebelumnya hampir semua transformator distribusi di Penyulang Veneuzela mengalami kondisi tidak seimbang yang tidak sesuai standar, hal ini mengakibatkan rendahnya efisiensi daya listrik. Rendahnya efisiensi dikarenakan banyaknya daya yang terbuang saat pengiriman daya listrik ke konsumen. Sedangkan pihak konsumen kualitas tegangan yang diterima rendah dan kualitas daya menurun. Oleh karena itu sebagai upaya meminimalisir hal tersebut perlunya analisis pengaruh ketidakseimbangan beban transformator distribusi terhadap nilai efisiensi.

Pihak PLN sebelumnya telah menggunakan perhitungan dengan bantuan Microsoft Excel untuk menghitung nilai ketidakseimbangan beban, nilai arus netral dan persentasi beban tiap transformator. Perhitungan persentasi nilai ketidakseimbangan beban menggunakan metode komponen simetris. Sedangkan untuk mengurangi nilai ketidakseimbangan beban Pihak PLN melakukan metode penyeimbangan dengan memindahkan fasa beban yang paling besar ke fasa yang bebannya rendah. Penyeimbangan dilakukan pada bagian fasa induk dan fasa di jurusan.

Sedangkan berdasarkan dari jurnal-jurnal terkait, metode perhitungan yang digunakan diantaranya metode komponen simetris[11][6][9]. Sedangkan pada penelitian lainnya analisis ketidakseimbangan beban menggunakan software etap [7][10]. Pada kondisi sistem distribusi tegangan rendah akibat dari kondisi beban yang tidak seimbang akan mengalir arus pada kawat netral pada transformator arus yang mengalir kawat netral merupakan arus bolak balik untuk sistem distribusi. Tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris[10][6]. Terdapat arus netral rugi-rugi jaringan dan efisiensi[9].

Dari buku terkait, peneliti melihat ada analisis yang dapat ditambahkan sebagai rujukan untuk pihak PLN. berdasarkan penelitian dari jurnal terkait yang peneliti baca, belum membahas mengenai analaisis rugi-rugi pada transformator atau rugi-rugi internal. Hal ini dapat ditambahkan sebagai analisis bagi pihak PLN, sehingga dapat meminimalisir rugi-rugi internal ini dengan baik dan tepat. Penelitian ini juga melakukan analisis perbandingan hasil losses dan efisiensi terhadap ketidakseimbangan beban transformator.

Berdasarkan dari uraian di atas, maka perlu sebuah penelitian untuk melihat nilai losses dan efisiensi saat beban tranformator dalam kondisi tidak seimbang. Analisis ketidakseimbangan beban diharapkan dapat sebagai acuan bagi PT. PLN (Persero) ULP

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumbernya.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Rumusan Masalah

Bagaimana ketidakseimbangan beban pada transformator 25 KVA di penyulang Venezuela
 Bagaimana arus netral?
 Bagaimana rugi-rugi yang terjadi pada transformator?
 Bagaimana berapa besar rugi-rugi internal pada transformator di penyulang Venezuela?
 Bagaimana besarnya efisiensi pada transformator di penyulang Venezuela?

3. Batasan Masalah

Menganalisa satu transformator distribusi dengan ketidakseimbangan beban yang besar
 Menggunakan data pada waktu WBP (Waktu Beban Puncak)

4. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis ketidakseimbangan beban pada transformator 25 KVA di penyulang Venezuela
2. Menganalisis arus netral
3. Menganalisis rugi-rugi yang terjadi pada transformator
4. Menganalisis berapa besar rugi-rugi internal pada transformator di penyulang Venezuela
5. Menentukan besarnya efisiensi pada transformator di penyulang Venezuela

5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Bagi Penulis
 Dapat menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa di feeder Hangtuah pada nilai losses dan efisiensi.
2. Bagi Lembaga Pendidik
 Dapat dijadikan sumber referensi bagi pihak yang membutuhkan

Bagi Perusahaan

Dapat dijadikan bahan rujukan perhitungan nilai ketidakseimbangan beban transformator distribusi yang mempengaruhi nilai losses dan efisiensi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

4. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mencari rujukan dan penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Rujukan didapatkan dari paper jurnal, buku yang berhubungan dengan penelitian ini.

Pada penelitian [1] analisis ketidakseimbangan beban trafo 1 gi sronдол terhadap rugi-rugi akibat arus netral dan suhu trafo. pada penelitian ini, analisis menggunakan tools simulasi software etap 12.6.0. Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan munculnya arus netral sehingga memperbesar rugi-rugi daya. Ketidakseimbangan beban juga akan mempengaruhi suhu pada transformator. Upaya yang dilakukan pada jurnal ini yaitu dengan menyeimbangkan beban pada masing-masing penyulang. Penyeimbangan beban dilakukan dengan cara memindah hubungan fasa trafo dari satu fasa ke fasa yang lain tanpa merubah nilai beban yang dipikul trafo tersebut. Setelah dilakukan penyeimbangan beban besar arus netral menjadi turun, sehingga besar rugi-rugi daya lebih kecil dibandingkan sebelum penyeimbangan beban. Penyeimbangan beban menyebabkan beban yang di tanggung transformator menjadi berkurang, sehingga suhu transformator menjadi lebih turun dibanding sebelum dilakukan penyeimbangan beban.

Pada penelitian [2] analisis rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 KV. Beban tidak seimbang pada jaringan distribusi selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pengaturan beban 1 fasa pada pelanggan pada jaringan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut menyebabkan munculnya arus netral pada trafo dan sekaligus memperbesar nilai rugi-rugi daya pada sistem distribusi. Pada penelitian ini dilakukan analisis perhitungan pada gardu distribusi mk494 untuk mengetahui besar ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi-rugi daya saluran. Setelah di analisis diperoleh ketidakseimbangan beban terbesar 38.633% pada waktu beban puncak (WBP) dan 24.533 % pada waktu luar beban puncak (LWBP). Arus netral yang muncul yakni sebesar 47.5 A pada WBP dan 47 A pada LWBP. Sedangkan persentase rugi-rugi akibat adanya arus netral trafo adalah 1.457 % pada WBP dan 1.426 % LWBP.

Pada penelitian [3] analisis ketidakseimbangan beban dan losses berdasarkan pembebanan terbesar 3 unit transformator distribusi 3 phase feeder hangtuah Duri Riau.

Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan munculnya arus netral sehingga memperbesar rugi-rugi daya. Ketidakseimbangan beban pada transformator yang membebani besar akan memperburuk kondisi transformator tersebut. Pada penelitian ini dilakukan analisis perhitungan besar nilai ketidakseimbangan beban, arus netral, dan rugi-rugi daya pada 3 transformator yang pembebanannya besar di antara yang lain, antara lain DRI 0157, DRI 0241, dan DRI 0065. Pada malam hari berdasarkan hasil pengukuran pembebanan transformator DRI 0241 sebesar 80% dan siang hari 65 % untuk ketidakseimbangan beban sebesar 32,2% malam hari dan 29,8% siang hari. Semakin besar pembebanan transformator maka semakin besar pula ketidakseimbangan beban transformator. Arus di netral transformator menimbulkan losses sebesar 45 A dan 2,4% malam hari untuk siang hari 33 A dan 1,2%. Arus netral mempengaruhi besarnya losses yaitu semakin besar arus netral maka semakin besar losses yang muncul pada transformator.

Pada penelitian [4] analisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 KV dan solusinya pada jaringan tegangan rendah. pada penelitian ini, analisis menggunakan tools simulasi software etap 12.6.0. Penelitian ini dilakukan di jaringan distribusi PLN Rayon Rungkut area Surabaya Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban menggunakan software ETAP 12.6.0 dan hasil pengukuran didapatkan hasil ketidakseimbangan beban yang besar selisih arus antar fasa pada BUS 1 atau transformator BE 1438, fasa R ke S sebesar 38,4 A, S ke T sebesar 24,4 A dan R ke T sebesar 14,6 A, kemudian setelah dilakukan perhitungan, presentase Ketidakseimbangan beban terbesar dengan kode BE 1192 ketidakseimbangan beban mencapai 25.6 %, dan rugi-rugi daya sebesar 1.027 KW dengan presentase rugi-rugi sebesar 9.14 %. Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan arus netral bertambah besar sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya juga bertambah besar. Untuk itu solusi dari ketidakseimbangan beban adalah dengan memindahkan beban sehingga pembebanan antar fasa bisa merata.

Pada penelitian [5] pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator distribusi 100 KVA. Pada penelitian ini dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan hasil antara lain ketidakseimbangan, arus netral, losses, dan efisiensi saluran distribusi. Penelitian ini dilakukan pada transformator distribusi 100 KVA di PT. PLN (Persero) Unit Aimas. Hasil setelah dilakukan perhitungan Ketidakseimbangan beban antar fasa R, S dan T pada siang hari 6 % dan pada malam hari sebesar 9,66 %, menunjukkan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



ahwa pada malam hari ketidakseimbangan beban cenderung meningkat. Sedangkan rugi-rugi daya netral pada siang hari adalah 0.07 KW dan malam hari adalah 0.07 KW. Begitu pula rugi-rugi beban pada siang hari sebesar 0,449 KW, pada malam hari meningkat cukup signifikan menjadi 0,746 kW. Efisiensi turut berpengaruh dimana pada siang hari sebesar 95,13% dan pada malam hari 96,27 %.

Pada penelitian [6] analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan. Pada penelitian ini Analisis dilakukan pada bulan Juli 2019, yang bertujuan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi pada transformator setiap hari dalam waktu satu bulan, serta menghitung persentase kenaikan losses terhadap perubahan arus beban normal ke arus beban puncak. Hasil perhitungan menunjukkan Losses tertinggi pada Trafo 1 jatuh pada tanggal 23 Juli 2019, sebesar 4.588.204 kw. Losses tertinggi pada Trafo 2 jatuh pada tanggal 11 Juli 2019, sebesar 16.246.884 kw. Kemudian besar perubahan kenaikan arus dari arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 1, akan menyebabkan losses naik sebesar 3,66%, dan besar perubahan kenaikan arus dari arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 2, akan menyebabkan losses naik sebesar 2,38%.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya peneliti membahas ketidakseimbangan beban dengan metode komponen simetris pada transformator distribusi[2][3][5]. Dan pada jurnal ini membahas tentang rugi-rugi daya internal dan eksternal [6] sedangkan pada penelitian lain nya analisis ketidakseimbangan beban menggunakan software etap [1][4]. Berdasarkan penelitian sebelumnya juga ketidakseimbangan beban mempengaruhi besar arus netral dan losses [1][2][3][4][5].

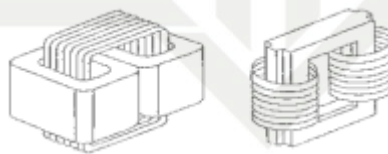
Sedangkan pada penelitian terkait sebelumnya ketidakseimbangan beban juga mempengaruhi nilai efisiensi saluran distribusi [5]. Oleh karena itu penelitian ini, akan melakukan analisis perhitungan ketidakseimbangan dengan metode komponen simetris. Penelitian ini akan menggabungkan semua variabel yang mempengaruhinya. Di antaranya, arus netral, losses, dan efisiensi saluran distribusi. Pada penelitian juga akan membandingkan kondisi transformator pada saat beban tidak seimbang dan pada beban yang seimbang. Sedangkan transformator distribusi yang di teliti adalah salah satu transformator 3-fasa dengan besar nilai ketidakseimbangan beban dan pembebanan paling besar di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Duri.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis [12]. Transformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi.

Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer terhubung ke sumber tegangan listrik AC dan kumparan sekunder terhubung ke beban. Ketika arus listrik mengalir pada kumparan primer, medan magnetik akan tercipta pada inti besi, dan medan magnetik ini akan mempengaruhi kumparan sekunder sehingga arus listrik akan terinduksi pada kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar “kaki” inti transformator. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti, transformator terdiri dari dua macam konstruksi, yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Kedua tipe ini menggunakan inti berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi *Eddy Current*.



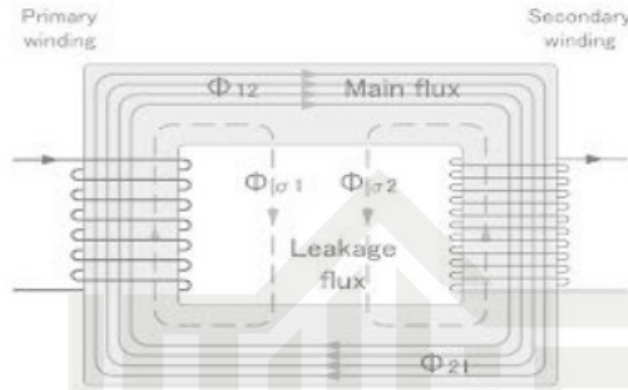
Gambar 2.1 Transformator tipe inti dan tipe cangkang[21]

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Faraday yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti (*core*) yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi (*selfinduction*) dan terjadi pula induksi dikumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, serta arus

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetis).



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator [21]

Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet atau fluksi yang berubah-ubah dan mempunyai harga yang sama dengan jumlah garis gaya yang dikeluarkan sisi primer, sehingga pada sisi sekunder terjadi induksi. Besarnya ggl induksi yang dihasilkan masing-masing kumparan berbanding lurus dengan jumlah lilitannya, sehingga di dapat:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \tag{2.1}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \tag{2.2}$$

Dimana:

e_1 = ggl induksi sesaat pada sisi primer

e_2 = ggl induksi sesaat pada sisi sekunder

N_1 = jumlah lilitan kumparan primer

N_2 = jumlah lilitan kumparan sekunder

Jika dianggap bahwa tidak ada daya yang hilang, maka daya yang dilepas pada sisi primer sama dengan daya yang diterima pada sisi sekunder:

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2 \tag{2.3}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_1}{I_2} \tag{2.4}$$

Keterangan:

E_1 = ggl induksi sisi primer (volt) efektif

E_2 = ggl induksi sisi sekunder (volt) efektif

I_1 = arus sisi primer

I_2 = arus sisi sekunder

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada inti terjadi akibat adanya medan magnetik yang berubah-ubah pada inti transformator, sedangkan rugi tembaga terjadi akibat adanya hambatan pada kawat tembaga yang digunakan pada transformator. Rugi-rugi daya pada transformator dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rugi besi} = k \times f \times B_{\max}^2 \times V_1^2 \times 10^{-6} \text{ watt} \quad (2.5)$$

$$\text{Rugi tembaga} = I^2 \times R \times 10^{-3} \text{ watt} \quad (2.6)$$

Keterangan:

k = Konstanta

f = frekuensi (60 Hz)

B_{\max} = *fluks* magnetik maksimum pada inti transformator

V_1 = Tegangan Primer (V)

I = Arus sekunder (A)

R = Resistansi (Ohm)

Tabel 2.1 Susut beban nol dan susut beban trafo distribusi menurut SPLN No. 50 1997

Kapasitas (kVA)	Rugi-rugi Besi (W)	Rugi tembaga (belitan) (W)
25	75	425
50	150	800
100	300	1600
160	400	2000
200	480	2500
250	600	3000
315	770	3900
400	930	4600
500	1100	5500
630	1300	6500
800	1750	9100
1000	2300	12100

Pada dasarnya suatu transformator dapat diizinkan bekerja pada beban lebih dalam waktu yang singkat. Sebelum melakukan pembebanan lebih sebaiknya di perhatikan desain, kenaikan temperaturnya, lama beban lebih dan peralatan lainnya. Pembebanan yang terlalu tinggi pada transformator distribusi dapat berdampak negatif terhadap kinerja sistem distribusi secara keseluruhan. Dampak utama dari pembebanan yang tinggi adalah rugi-rugi daya yang lebih besar pada transformator, yang akan mengurangi efisiensi transformator dan meningkatkan biaya operasional. Selain itu, pembebanan yang

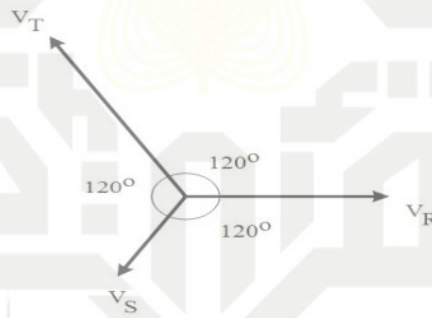
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Herlebih juga dapat menyebabkan penurunan tegangan pada jaringan listrik, yang dapat mempengaruhi kualitas daya yang disalurkan ke pelanggan.

2.2.4 Ketidakseimbangan Beban

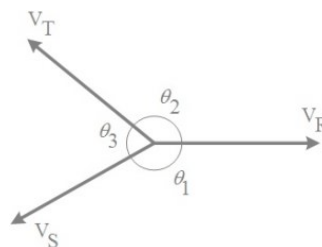
Menurut Rizky Syahputra Siregar dan Raja Harahap (2017) “Ketidakseimbangan beban adalah suatu keadaan dimana satu atau dua syarat dari beban seimbang tidak terpenuhi”. Pada sistem yang tidak seimbang, arus setiap komponen dapat memberikan kenaikan arus atau tegangan urutan komponen yang lain. Suplai dari sumber tegangan dan arus pada fasa banyak selalu di desain pada sistem seimbang, dalam hal ini, maka keadaan sistem tidak seimbang terjadi karena adanya beban atau impedansi yang tidak seimbang yang harus dipikul oleh sistem suplai tersebut. Ada tiga kemungkinan keadaan beban tidak seimbang, yaitu :

- a) Vektor arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lain tidak membentuk 120°



Gambar 2.3 Vektor tegangan tidak sama besar dan berbentuk 120° satu sama lain[19]

- b) Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain

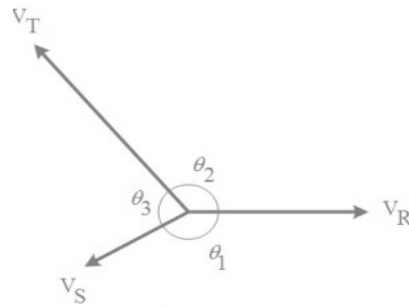


Gambar 2.4 Vektor tegangan sama besar dan tidak membentuk 120° satu sama lain[19]

- c) Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain

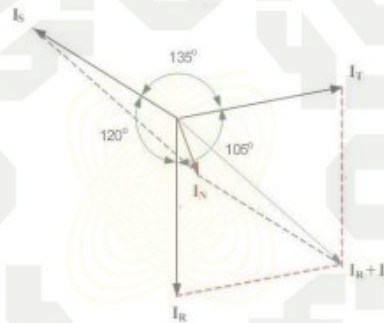
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.5 Vektor tegangan tidak sama besar dan tidak membentuk 120° satu sama lain[19]

Ketidakseimbangan beban terdapat pada gambar dibawah yaitu:



Gambar 2.6 Diagram vektor arus kondisi tidak seimbang[19]

Menurut Electrotechnical Commision) nilai persentase ketidakseimbangan beban yang diijinkan adalah 5%.standard IEC (International

2.2.4.1 Penyebab Ketidakseimbangan Beban

Terdapat 3 penyebab mengapa gangguan ketidakseimbangan sistem 3 fasa dapat terjadi, yaitu:

1. Tidak seimbang tegangan sejak pada sumbernya

Tegangan tidak simetris pada output generator tiga fasa bisa saja terjadi dikarenakan kesalahan teknis pada ketiga berkas kumparan dayanya (jumlah lilitan atau resistansi), tetapi keadaan ini jarang terjadi atau jarang ditemukan di lapangan.

2. Tidak seimbang tegangan pada salurannya

Keadaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

- a. Konfigurasi ketiga saluran secara total tidak seimbang, sehingga total kapasitansinya menjadi tidak seimbang. Keadaan ini dapat terjadi pada

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

penyaluran jarak jauh dan bertegangan tinggi, dimana jarak rata-rata setiap saluran fasa terhadap tanah tidak sama

Resistansi saluran tidak sama karena jenis bahan konduktor yang berbeda.

Resistansi saluran tidak sama karena ukuran konduktor yang berbeda.

Resistansi saluran tidak sama karena jarak antara masing-masing saluran fasa dengan beban tidak sama (besar dipengaruhi oleh jarak).

3. Tidak seimbang pada resistansi bebannya

Besar I (arus beban) ditentukan oleh besar R (beban), maka pada keadaan tidak seimbang yaitu $R_R \neq R_S \neq R_T$, maka arus bebannya $I_R \neq I_S \neq I_T$. Akibat lanjut dari tidak sebangnya tegangan sisi terima adalah tidak seimbang pula bebannya. Hal ini paling sering ditemukan pada praktek di lapangan, antara lain disebabkan adanya sambungansambungan di luar sisi perhitungan dan perencanaan. Upaya teknis perlu dilakukan agar diperoleh keadaan pembebanan yang seimbang. Pada sistem tiga fasa yang menggunakan saluran netral, dalam keadaan beban simetris maka arus yang lewat harus bernilai 0 (nol) atau dalam keadaan yang benar-benar netral. Jika terjadi kondisi yang tidak simetris, maka sebagian arus yang berupa arus resultan akan melewati saluran netral sehingga saluran tersebut menjadi tidak netral lagi

2.2.5 Metode Komponen Simetris

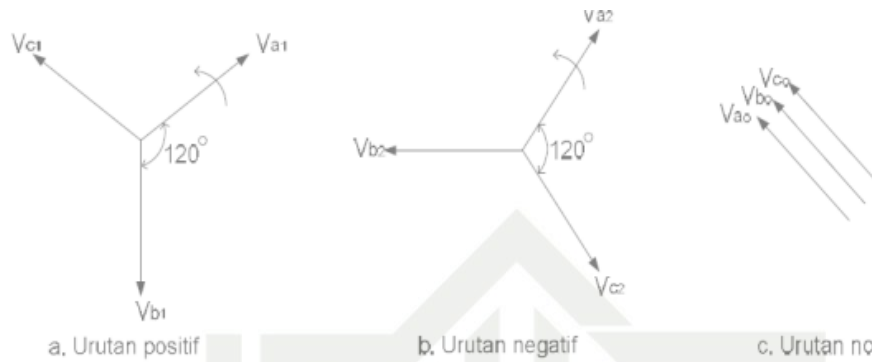
Menurut Fortescue yang menyatakan tiga fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetris (Stevenson, 1993). Komponen simetris tersebut yaitu urutan positif, negative dan urutan nol. Himpunan komponen seimbang tersebut antara lain:

- a. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
- b. Komponen urutan negative yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
- c. Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan dengan pergeseran nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tujuan lain adalah untuk memperlihatkan bahwa setiap fasa dari sistem tiga fasa tak seimbang dapat di pecah menjadi tiga set komponen.



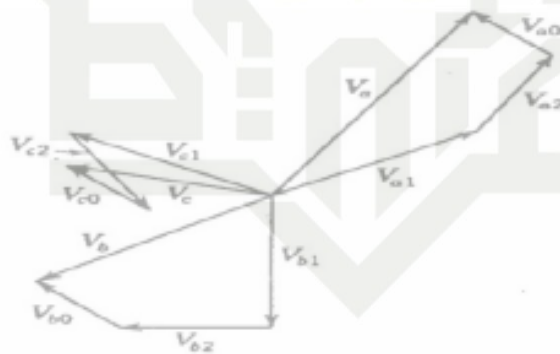
Gambar 2.7 Representase Komponen Simetris[20]

Tegangan tak seimbang setiap fasanya merupakan penjumlahan masing-masing komponen simetris yaitu:

$$\text{Tegangan fasa a, } V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \tag{2.7}$$

$$\text{Tegangan fasa b, } V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \tag{2.8}$$

$$\text{Tegangan fasa c, } V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \tag{2.9}$$



Gambar 2.8 Penjumlahan Komponen-komponen[20]

Dari Gambar 2.8 diatas, didapatkan hubungan antara komponen-komponen simetrisnya, yaitu: [14]

$$V_{b1} = a^2 V_{a1} \qquad V_{c1} = a V_{a1} \tag{2.10}$$

$$V_{b2} = a V_{a2} \qquad V_{c2} = a^2 V_{a2} \tag{2.11}$$

$$V_{b0} = V_{a0} \qquad V_{c0} = V_{a0} \tag{2.12}$$

Berdasarkan persamaan diatas (2.10), (2.11), dan (2.12), maka persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9) menjadi: [14]

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \tag{2.13}$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \tag{2.14}$$

$$V_c = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \quad (2.15)$$

Sehingga hubungan antara komponen-komponen simetrisnya dan tegangan sistemnya dapat ditulis sebagai berikut: [14]

$$V_{a0} = (V_a + V_b + V_c) \quad (2.16)$$

$$V_{a1} = (V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (2.17)$$

$$V_{a2} = (V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (2.18)$$

Dalam sistem tenaga listrik tidak terdapat komponen urutan nol jika suatu sistem seimbang. Pada sistem tiga fasa yang tidak seimbang, pada kabel netralnya dapat menampung komponen urutan nol. Persamaan tegangan tersebut berlaku juga pada persamaan arusnya

2.2.6 Arus Netral

Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa empat kawat. Arus netral ini muncul jika:

- a. Kondisi beban tidak seimbang
- b. Karena adanya arus harmonisa akibat beban non-linear

Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris.

2.2.7 Arus Netral Karena Beban Tak Seimbang

Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah 3 fasa 4 kawat. Arus netral ini akan muncul jika kondisi beban tidak seimbang atau karena adanya arus harmonisa akibat dari beban non linear yang semakin berkembang digunakan saat ini. Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus balik untuk sistem distribusi 3 fasa 4 kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris.

Pada kondisi beban tak seimbang, perhitungan nilai arus netral dapat diketahui melalui metode komponen simetris. Dengan menggunakan notasi-notasi yang sama seperti pada tegangan akan didapatkan persamaan-persamaan untuk arus-arus fasanya sebagai berikut :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \quad (2.19)$$



$$I_1 = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \quad (2.20)$$

$$I_2 = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \quad (2.21)$$

Dimana:

I_a = Arus urutan a pada vektor

I_b = Arus urutan b pada vektor

I_c = Arus urutan c pada vektor

Dengan tiga langkah yang telah dijabarkan dalam menentukan tegangan urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol terdahulu, maka arus-arus urutan juga dapat ditentukan dengan cara yang sama, sehingga dapatkan juga:

$$I_1 = 1/3 (I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad (2.22)$$

$$I_2 = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.23)$$

$$I_0 = 1/3 (I_a + I_b + I_c) \quad (2.24)$$

Disini terlihat bahwa arus urutan nol (I_0) adalah merupakan sepertiga dari arus netral atau arus baliknya akan menjadi nol jika dalam sistem tiga fasa empat kawat. Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, jadi :

$$I_a + I_b + I_c = I_N \quad (2.25)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.24 ke 2.25 diperoleh

$$I_N = 3 I_0 \quad (2.26)$$

Arus I_N adalah arus yang mengalir di titik netral karena keadaan beban tidak seimbang pada transformator dan besarnya tergantung seberapa besar faktor ketidakseimbangannya[15].

Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral. Jika arus-arus phasanya seimbang maka arus netralnya akan bernilai nol, tapi jika arus- arus phasanya tidak seimbang akibat pembebanan yang tak seimbang, maka akan ada arus yang mengalir dikawat netral sistem (arus netral akan mempunyai nilai dalam arti tidak nol).

2.2.8 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Seimbang

Misalkan daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 [V] [I] \cos \phi \quad (2.27)$$

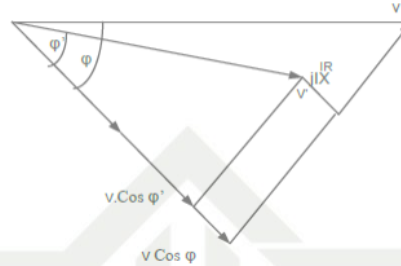
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Penyusutan daya ini dapat diterangkan dengan menggunakan diagram fasor tegangan saluran model fasa tunggal seperti pada Gambar di bawah ini:



Gambar 2.9 Diagram Fasor Tegangan Saluran Daya Model Fasa Tunggal[13]

Model ini dibuat dengan asumsi bahwa arus pemuatan kapasitif pada saluran cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian besarnya arus di ujung kirim sama dengan arus di ujung terima. Apabila tegangan dan faktor daya pada ujung terima berturut-turut adalah V'' dan $\text{Cos } \phi''$ daya pada ujung terima adalah:

$$P' = 3 \cdot [V'] \cdot [I] \cdot \text{cos } \phi' \tag{2.28}$$

Selisish antara P pada persamaan (2.27) dan P' pada persamaan (2.28) memberikan susut daya saluran, yaitu:

$$P_1 = P - P' \tag{2.29}$$

$$= 3 [V] [I] \text{cos } \phi - 3 [V'] [I] \text{cos } \phi' \tag{2.30}$$

$$= 3 \cdot [I] \cdot \{ [V] \text{Cos } \phi - [V'] \text{Cos } \phi' \} . \tag{2.31}$$

Dimana:

P_1 = Susut daya saluran (Watt)

P = Daya pada ujung pengirim (Watt)

P' = Daya pada ujung terima (Watt)

Dengan R adalah tahanan kawat penghantar tiap fasa, oleh karena itu persamaan berubah menjadi :

$$P_1 = 3 [I]^2 R \tag{2.32}$$

2.2.9 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Tidak Seimbang

Pada kondisi seimbang, besarnya arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P dapat dihitung menggunakan nilai I. Namun, pada kondisi tidak seimbang, besarnya arus fasa harus diwakili oleh tiga koefisien a, b, dan c sebagai berikut:

$$[I_R] = a [I] \tag{2.33}$$

$$I_S = b [I] \quad (2.34)$$

$$I_T = c [I] \quad (2.35)$$

Dengan I_R , I_S , dan I_T berturut adalah arus fasa R, S dan T. Telah disebutkan di atas bahwa faktor daya ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda-beda. Dengan anggapan seperti ini besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai: $P = (a+b+c) [V] [I] \cos \varphi$

$$(2.36)$$

Apabila menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan tersebut dapat diperoleh persyaratan koefisien a, b dan c adalah :

$$a + b + c = 3 \quad (2.37)$$

Dengan anggapan yang sama, arus yang mengalir di penghantar netral dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned} I_N &= I_R + I_S + I_T \\ &= [I] \{ a + b \cos (-120) + j.b.\sin (-120) + c.\cos (-120) + j.c.\sin (120) \} \\ &= [I] \{ a - (b + c) / 2 + j. (c - b) \sqrt{3} / 2 \} \end{aligned} \quad (2.38)$$

Susut daya saluran adalah jumlah susut daya pada penghantar fasa dan penghantar netral adalah:

$$P_l' = ([I_R]^2 + [I_S]^2 + [I_T]^2) \cdot R + [I_N]^2 \cdot R_N \quad (2.39)$$

$$= (a^2 + b^2 + c^2) [I]^2 R + (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc) [I_N]^2 R_N \quad (2.40)$$

Dengan R_N adalah tahanan penghantar netral.

Apabila persamaan (2.39) disubstitusikan ke persamaan (2.40) maka diperoleh:

$$P_l' = (9 - 2(ab + ac + bc)) [I]^2 R + (9 - 3(ab + ac + bc)) [I_N]^2 R_N \quad (2.41)$$

Persamaan 2.41 ini adalah susut daya saluran untuk saluran dengan penghantar netral. Apabila tidak ada penghantar netral maka persamaannya menjadi:

$$P_l' = (9 - 2(ab + ac + bc)) [I]^2 R \quad (2.42)$$

2.2.10 Perhitungan Pembebanan Transformator Distribusi

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (tegangan primer) dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2.43)$$

Keterangan:

S = Daya pada transformator (kVA)

V = Tegangan pada transformator (V)



$I =$ Arus jala-jala pada transformator (A)

Menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan rumus sebagai berikut[16]

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \tag{2.44}$$

Keterangan :

$I_{beban\ penuh}$ = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

$I_{rata-rata}$ = Arus rata-rata (A)

I = Arus per fase (A)

Sedangkan untuk mencari persentase pembebanan pada transformator distribusi dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Pembelianan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{beban\ Penuh}} \times 100\% \tag{2.45}$$

Keterangan :

% pembelianan = persentase pembebanan transformator (%)

2.2.11 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan terjadi karena pembagian beban yang tidak merata antar tiap-tiap fasa mengakibatkan arus beban pada masing-masing fasa. Analisa ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_S + I_R + I_T}{3} \tag{2.46}$$

$$I_R = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}, \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \tag{2.47}$$

$$I_S = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}, \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \tag{2.48}$$

$$I_T = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}, \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \tag{2.49}$$

Dengan demikian rata-rata ketidak seimbangan beban (dalam %) adalah:

$$I_{ketidak\ seimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \tag{2.50}$$

Keterangan:

$I_{rata-rata}$ = arus rata-rata tiap fasa

I_R = arus pada fasa R

I_S = arus pada fasa S

I_T = arus pada fasa T

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.1a Perhitungan Losses (Rugi-Rugi) Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral dan Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S dan fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi).

Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral

Jika di hantaran pentanahan netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral sebesar [17]

$$P_N = I_N R_N \quad (2.51)$$

Keterangan :

P_N = Losses yang timbul pada penghantar netral (watt)

I_N = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

R_N = Tahanan pada kawat netral (Ohm)

2. Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (2.52)$$

Keterangan:

P_G : Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G : arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.2.1b Rugi-rugi transformator tanpa beban

Rugi-rugi yang dialami transformator pada kondisi tanpa beban adalah rugi histeresis dan rugi eddy. Rugi histeresis disebabkan karena *fluks* bolak-balik pada inti besi, dapat dinyatakan sebagai berikut: [18]

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^n \text{ watt} \quad (2.53)$$

Sedangkan rugi arus eddy disebabkan arus pusar pada inti besi, dinyatakan sebagai berikut:

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \text{ watt} \quad (2.54)$$

Keterangan:



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- P_e = rapat fluksi maksimum (φ/m^2)
- K_h = konstanta histeresis, tergantung pada inti bahan
- K_e = konstanta arus eddy, tergantung pada volume inti
- f = frekuensi jala-jala (Hz)
- K_s = konstanta steinmentz (1,6 - 2,0)

Dari persamaan rugi-rugi transformator tanpa beban tersebut, dapat diketahui besar total rugi inti (besi) merupakan penjumlahan nilai rugi histeresis dan rugi eddy:

$$P_{\text{total}} = P_h + P_e = (K_h \cdot f \cdot B_m^n \text{ watt}) + (K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \text{ watt}) \tag{2.55}$$

Besarnya rugi-rugi inti ditentukan berdasarkan hasil pengetesan transformator, namun secara teoritis dapat ditentukan berdasarkan nilai (harga) pembebanan yang berbeda dan bekerja pada efisiensi dan faktor daya yang sama

2.2.14 Efisiensi Transformator

Efisiensi menunjukkan tingkat keefisienan kerja suatu peralatan dalam hal ini transformator yang merupakan perbandingan rating output (keluaran) terhadap input (masukan) dan dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{2.56}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\%$$

- Keterangan :
- Pin = Daya input transformator
 - Pout = Daya output transformator

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode deskriptif. Penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang norma-normanya meliputi struktur yang sistematis, terencana, jelas dan tepat. Metode deskriptif adalah metode yang digunakan untuk menggambarkan atau memberikan gambaran tentang suatu subjek penelitian dari data atau sampel yang dikumpulkan tanpa rekayasa. Metode deskriptif bertujuan untuk menggambarkan subjek penelitian atau hasil penelitian.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini di lakukan pada salah satu transformator di PT. PLN (Persero) ULP Duri, yaitu pada Penyulang Venezuela DRI-361 yang beralamat di Jl.Setia. Alasan saya memilih trafo ini sebagai berikut;

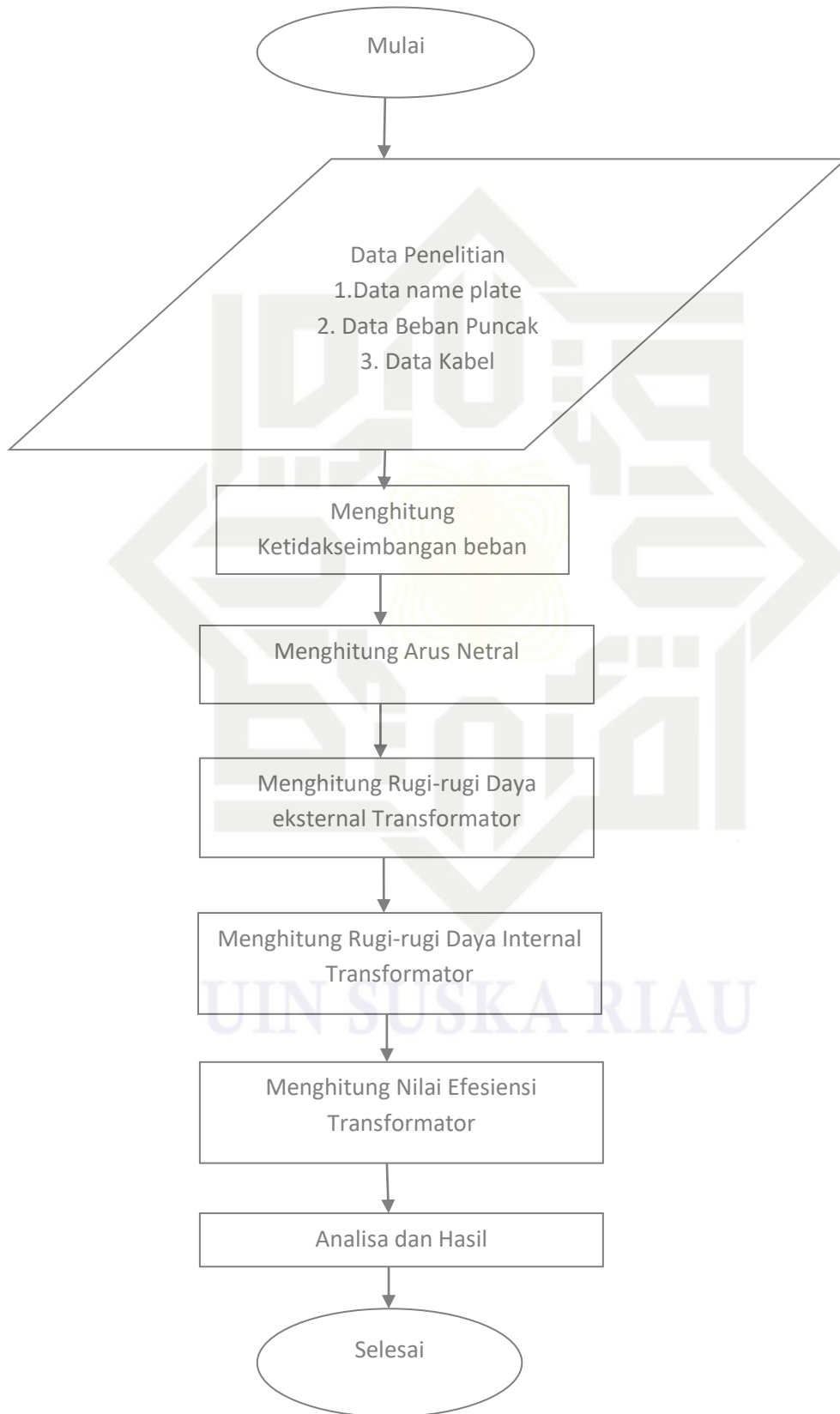
- a. Berdasarkan wawancara dan data pengukuran beban pada tanggal 27-08-2021 yang diberikan oleh pihak PLN (persero), transformator tersebut memiliki nilai ketidakseimbangan beban sebesar 200%. Nilai tersebut melebihi standar PLN dimana berdasarkan standar SE PT. PLN (Persero) No : 0.017.E / DIR 20 yaitu besar beban tidak boleh lewat dari 25% yang telah di tetapkan.
- b. Berdasarkan data pengukuran, transformator tersebut memiliki pembebanannya paling besar di penyulang Venezuela dan melebihi standar yang telah ditetapkan oleh PLN (persero).

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses studi literatur, diantaranya, identifikasi masalah, menentukan masalah, dan meninjau penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Kemudian, melakukan observasi terkait objek penelitian. Pada proses observasi, peneliti melakukan pengumpulan data sekunder yang diperlukan dalam penelitian. Adapun diagram alur penelitian ini adalah sebagai berikut :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.3.1 Data Penelitian

1. Data Name Plate Transformator Distribusi

Pada tabel 3.1 dibawah ini merupakan data Transformator Distribusi DRI-361

	HV	LV
Merk	SINTRA	
Type	-	
Rated Power	25 KVA	25 KVA
Rated Voltage	20000	400
Rated Current	1443	72169
Cooling	ONAN	
Winding	Yyn0+D	
Impedance	4.00 %	

Pada tabel 3.1 diatas merupakan data Transformator Distribusi DRI-361 di penyulang Venezuela. Transformator daya tersebut dengan jenis (*OFF Load Tap Changer*) yang digunakan untuk mengirimkan daya listrik ke pelanggan di daerah Jl. Setia Duri Provinsi Riau.

Tabel 3.2 Data SPLN No. 50 tahun 1987 Besaran Rugi-Rugi Besi dan Tembaga di Transformator.

Kapasitas (Kva)	Rugi Besi (W)	Rugi Tembaga (W)
25	75	425

Pada tabel di atas merupakan data dari SPLN no 50 tahun 1987 yang berisi data rugi-rugi besi dan rugi-rugi belitan di transformator distribusi yang saya teliti.

2. Data Waktu Beben Puncak (WBP)

Tabel 3.3 Data Beban yang ditanggung dari setiap transformator distribusi pada Penyulang Venezuela

NO	Nomor Trafo distribusi	Tegangan	kVA	Beban			Balance	
		kV		kVA	%	Pf	persen	balance/unbalance
1	DRI-614	20/0.4	160	40	25	0.85	25%	Balance
2	DRI-SISIP SUKARAMAI	20/0.4	160	78	49	0.85	38%	Unbalance

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang									
3	DRI-101	20/0.4	160	60	37	0.85	58%	Unbalance	
4	DRI-250	20/0.4	50	28	55	0.85	22%	Balance	
5	DRI-361	20/0.4	25	21	82	0.85	200%	Unbalance	
6	DRI-362	20/0.4	100	39	39	0.85	32%	Unbalance	
7	DRI-520	20/0.4	50	21	42	0.85	91%	Unbalance	
8	DRI-521	20/0.4	50	11	22	0.85	175%	Unbalance	
9	DRI-352	20/0.4	100	47	47	0.85	79%	Unbalance	
10	DRI-519	20/0.4	50	28	56	0.85	75%	Unbalance	
11	DRI-450	20/0.4	50	13	27	0.85	250%	Unbalance	
12	DRI-518	20/0.4	100	30	30	0.85	68%	Unbalance	
13	DRI-268	20/0.4	100	79	79	0.85	27%	Unbalance	
14	DRI-110	20/0.4	50	39	77	0.85	51%	Unbalance	

Pada tabel 3.3 diatas merupakan data beban yang ditanggung dari setiap transformator distribusi pada pada Penyulang Venezuela. Data beban merupakan data pengukuran pada tanggal 27 agustus 2022 di waktu beban puncak. Jumlah transformator distribusi di Penyulang Venuzuela adalah 14 unit, dimana ada 12 tranformator yang bebannya tidak seimbang dan 2 tranformator memiliki beban seimbang.

3. Data Saluran Distribusi

Tabel 3.4 Data Jarak Antara Transformator Distribusi Sisi Sekunder Dan Sisi Beban Paling Ujung Pelanggan

Penghantar		kuat antar arus
Jenis	Ukuran	
NYN	3x70 mm ²	8.14

Pada table di atas ini merupakan data jarak antara transformator distribusi sisi sekunder dan sisi beban paling ujung pelanggan daya listrik transformator DRI-361.

3.3.2 Menghitung Ketidakseimbangan Beban

Pada penelitian ini akan melakukan perhitungan dengan menggunakan data-data yang sudah di peroleh di atas. Adapun pada tahap ini akan melakukan perhitungan antara lain menghitung daya terpakai, persentase pembebanan, dan ketidakseimbangan beban.

3.3.2.1 Menghitung Daya Terpakai

Untuk mencari menghitung pembebanan yang terpakai pada transformator DRI-361 menggunakan persamaan (2.43). Dengan cara mencari arus rata-rata pada transformator untuk mendapatkan kapasitas daya semu yang terpakai.

3.3.2.2 Menghitung Persentase Pembebanan

Setelah mendapatkan nilai daya terpakai maka daya terpakai di bagi dengan kapasitas daya penuh dari transformator untuk mendapatkan nilai persentase pembebanan. Dengan menggunakan persamaan (2.45).

3.3.2.3 Menghitung Ketidakseimbangan beban

Untuk mencari persentase ketidakseimbangan beban pada transformator DRI-361 menggunakan persamaan (2.47) (2.48) (2.49). Dalam mencari koefisien ketidakseimbangan beban menggunakan metode komponen simetris. Untuk mencari koefisien a, b dan c, digunakan parameter arus dan arus rata-rata untuk setiap fasa. Kemudian kita dapat menghitung persentasi ketidakseimbangan beban dengan persamaan (2.50).

3.3.3 Menghitung Arus Netral

Untuk mencari arus netral pada transformator DRI-361 menggunakan persamaan (2.26). Besar arus netral di pengaruhi oleh nilai ketidakseimbangan beban.

3.3.4 Menghitung Rugi-rugi Eksternal Transformator

Rugi-rugi eksternal terjadi pada luar transformator yaitu pada jaringan netral dan ground tranformator dengan persamaan (2.51) (2.52) dan juga rugi-rugi eksternal tiap fasa pada persamaan (2.32)

3.3.5 Menghitung Rugi-Rugi Internal Transformator

Rugi-rugi internal merupakan rugi-rugi yang terjadi di dalam transformator pada bagian besi dan lilitan tembaga dengan persamaan (2.5) (2.6)



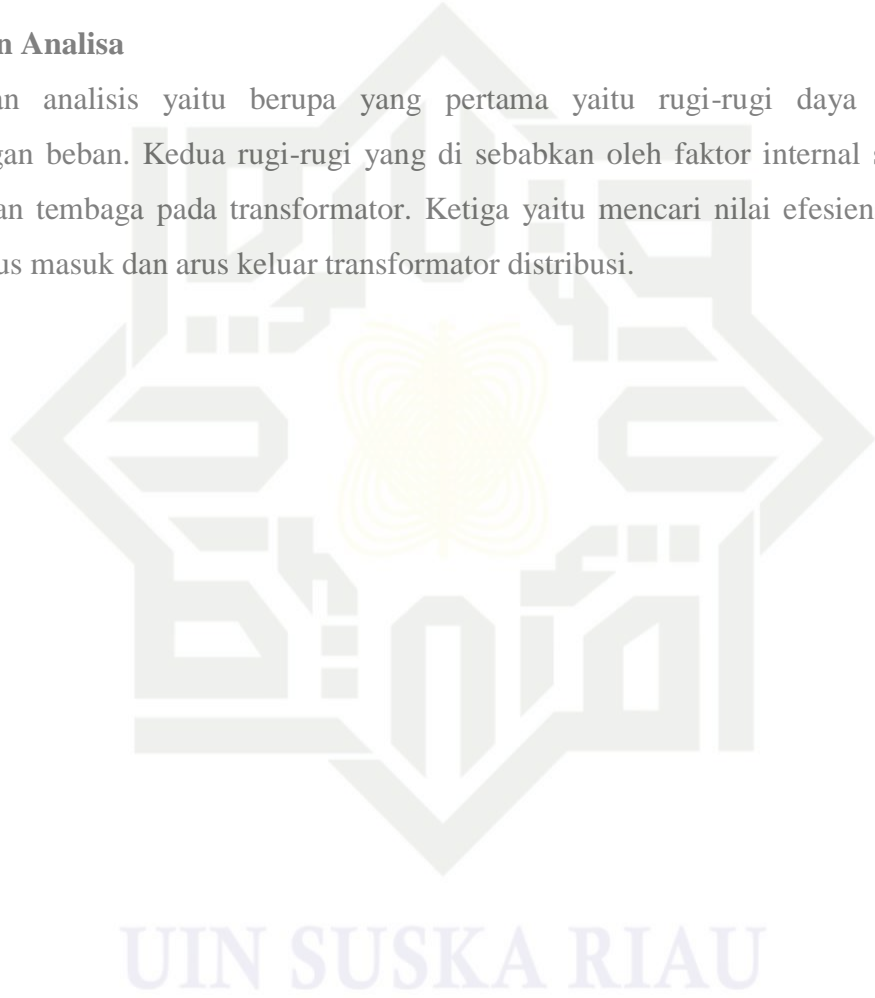
3.3.6 Menghitung Efisiensi

Untuk mencari nilai efisiensi pada transformator DRI-361 menggunakan persamaan (2.56). Efisiensi saluran distribusi merupakan perbandingan antara besarnya listrik keluaran dengan daya listrik yang masuk pada jaringan distribusi.

3.3.7 Hasil dan Analisa

Hasil dan analisis yaitu berupa yang pertama yaitu rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban. Kedua rugi-rugi yang di sebabkan oleh faktor internal seperti rugi-rugi besi dan tembaga pada transformator. Ketiga yaitu mencari nilai efisiensi dari perbandingan arus masuk dan arus keluar transformator distribusi.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Persentase ketidakseimbangan beban pada transformator DRI-361 adalah 36,3%. Dimana hasil tersebut melebihi standar PLN dimana berdasarkan standar SE PT. PLN (Persero) No : 0.017.E / DIR 20 yaitu besar beban tidak boleh lewat dari 25% yang telah di tetapkan.
2. Nilai arus netral pada transformator DRI-361 adalah 26,5 A. dimana hasil tersebut cukup besar karena di sebabkan oleh nilai ketidakseimbangan beban yang cukup besar.
3. Nilai Rugi-rugi eksternal antara lain, rugi-rugi netral 19,45 Watt, rugi-rugi ground 0,309 Watt, rugi-rugi fasa R 54,27 Watt, rugi-rugi fasa S 35,035 Watt, dan rugi-rugi fasa T 6,435 Watt.
4. Nilai Rugi-rugi Internal pada transformator DRI-361 antara lain rugi-rugi besi 75 Watt dan rugi-rugi tembaga 373,57 Watt
5. Nilai efesiensi pada transformator DRI-361 adalah 75,6%. Dimana nilai efesiensi transformator diketahui bahwa efesiensi tidak bagus.

5.2 Saran

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan analisis menggunakan software
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memberi solusi terkait rugi-rugi internal pada transformator
3. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan mencari pengaruh yang lain terhadap nilai efesiensi

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] rencana usaha penyediaan tenaga listrik, pt. pln (Persero), 2022
- [2] S. dkk Muslim, Teknik Pembangkit Tenaga Listrik. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [3] Unit Layanan Pelanggan (ULP). Duri: PT. PLN (Persero), 2020.
- [4] Syuf Rijal and M. Readysal, Jaringan distribusi tenaga listrik. Kementerian Pendidikan Dasar Menengah Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2014.
- [5] Bidang Integrasi Pengolahan dan Diseminasi Statistik, Provinsi Riau Dalam Angka Tahun 2022. Riau: BPS Provinsi Riau, 2022.
- [6] Mutari Esa, “Analisis ketidakseimbangan beban dan losses berdasarkan pembebanan terbesar 3 unit tranformator distribusi 3 phase feeder hangtuh Duri Riau,” *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, Vol. 7 No. 1, 2021.
- [7] S. Zainal dan R. Tri, “Analisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 KV dan solusinya pada jaringan tegangan rendah,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 08 No.1, 2019
- [8] Elnizar Hendri, “Analisis rugi-rugi (losses) transformator daya 150/20 KV di PT. PLN (persero) Gardu induk sutami ULTG Tarahan,” *ELEKTRICIAN*, vol. 15 No. 2, 2021
- [9] O. Johannes dan D Markus, “Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator distribusi 100 KVA pada PT. PLN (persero) unit aimas,” *Jurnal Elektro Luceat*, Vol.5 No. 2, 2019
- [10] J.W.S Dennis, “Analisis ketidakseimbangan beban trafo 1 GI Sronдол terhadap rugi-rugi akibat arus netral dan suhu trafo menggunakan etap 12.6.0,” *TRANSIENT*, Vol. 5 No. 4, 2017
- [11] T. Togar, “Usaha mengatasi rugi – rugi daya pada sistem distribusi 20 KV,” *INTEGRITAS*, Vol. 3 No. 1, 2018
- [12] Rijono, Yon. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik (Edisi Revisi). Yogyakarta : Andi Yogyakarta
- [13] Suhadi, dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Hal. 11
- [14] Ir. Yanu Prapto Sudarmojo, mt. 2016. studi hubung singkat untuk gangguan 3 fasa simetris pada sistem tenaga listrik bali. jurusan teknik elektro dan komputer fakultas teknik universitas udayana



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- [15] Watiningsih, T. 2012 .Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi. Journal Teodolita (Jurnal Fakultas Teknik).
- [16] Kadir, Transformator. Jakarta: Elex Media Komputindo, 1989.
- [17] Bachtiar. A., Dirgantara. B, Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator dengan Metode Seimbang Beban Seharian (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon. 2017; 6(1).
- [18] Dasar Teknik Tenaga Listrik Oleh Drs. Yon Rijono 2002
- [19] Setiadji, Julius, Sentosa., et al., Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya
- [20] Bagian Lima Komponen Simetris Dan Impedansi Urutan – web: <https://www.scribd.com/doc/225024622/Komponen-Simetris-Dan-ImpedansiUrutan>
- [21] Zuhal, Dasar Tenaga Listrik, (Bandung: Penerbit ITB, 1991), hal 15

LAMPIRAN



NO	Nomor Trafo distribusi	Tegangan kV	kVA	Beban			Balance		R	S	T
				kVA	%	pf	persen	alance/ unbalance			
1	DRI-614	20/0.4	160	40	25	0.85	25%	Balance	51	60	64
2	DRI-SISIP SUKARMAI	20/0.4	160	78	49	0.85	38%	Unbalance	100	102	138
3	DRI-101	20/0.4	160	60	37	0.85	58%	Unbalance	64	93	101
4	DRI-250	20/0.4	50	28	55	0.85	22%	Balance	44	40	36
5	DRI-361	20/0.4	25	21	82	0.85	200%	Unbalance	45	35	15
6	DRI-362	20/0.4	100	39	39	0.85	32%	Unbalance	62	59	47
7	DRI-520	20/0.4	50	21	42	0.85	91%	Unbalance	26	22	42
8	DRI-521	20/0.4	50	11	22	0.85	175%	Unbalance	18	8	22
9	DRI-352	20/0.4	100	47	47	0.85	79%	Unbalance	86	48	70
10	DRI-519	20/0.4	50	28	56	0.85	75%	Unbalance	49	45	28
11	DRI-450	20/0.4	50	13	27	0.85	250%	Unbalance	28	26	8
12	DRI-518	20/0.4	100	30	30	0.85	68%	Unbalance	57	40	34
13	DRI-268	20/0.4	100	79	79	0.85	27%	Unbalance	133	105	105
14	DRI-110	20/0.4	50	39	77	0.85	51%	Unbalance	68	54	45

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Peneliti Bernama lengkap Muhammad Fadli Pratama atau biasa dipanggil dengan nama superlili. Lahir di Duri 20 September 1998 dari pasangan Ermant dan Erlina sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Peneliti menempuh pendidikan di SDN 022 Mandau pada tahun 2004-2010, SMPN 01 Mandau pada tahun 2010-2013, SMAN 02 Mandau pada tahun 2013-2016. Peneliti melanjutkan Pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi.

Pada tahun 2018 peneliti melaksanakan Kerja Praktek (KP) di UIN Suska Riau dengan judul Penelitian **“PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA GENERATOR AMG 1600SS12 DSE PLTMG DI PT.PLN (PERSERO) UNIT PELAYANAN PUSAT LISTRIK TENAGA GAS /MESIN GAS DURI”**. Yang dibimbing oleh bapak Halim Mudia, ST, MT dan diseminarkan pada tahun 2019 awal. Pada bulan Juli tahun 2019 penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Kecamatan Pusako pada Kabupaten Siak Provinsi Riau. Segala kritik, saran dan pertanyaan untuk penulis dapat disampaikan melalui alamat email berikut fadliratama95@gmail.com Terimakasih

UIN SUSKA RIAU