

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.



Oleh :

TIKO ARJANATI PUTRA

11655101127

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2020

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 PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN DAN SUHU EKSTERNAL TERHADAP SSUT UMUR TRANSFORMATOR (Studi Kasus : PT PLN (Persero) Gardu Induk Garuda Sakti)

TUGAS AKHIR

Oleh:

TIKO ARJANATI PUTRA

11655101127

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 13 November 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom

NIP. 19750922 200912 00 2

Pembimbing



Dr. Liliana, S.T, M.Eng

NIP. 19781012 200312 2 004

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN DAN SUHU EKSTERNAL TERHADAP SUSUT UMUR TRANSFORMATOR

(Studi Kasus : PT PLN (Persero) Gardu Induk Garuda Sakti)

TUGAS AKHIR

oleh:

TIKO ARJANATI PUTRA

11655101127

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji


sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

di Pekanbaru, pada tanggal 13 November 2020

Pekanbaru, 13 November 2020

Mengesahkan,

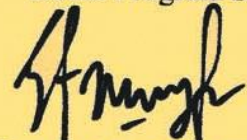


Dekan

Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag

NIP. 196606041992031 00 4

Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom

NIP. 19750922 200912 00 2

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Arif Marsal, Lc, M.A

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

Penguji I : Dr. Zulfatri Aini, ST, MT

Penguji II : Marhama Jelita, S.Pd, M.Sc



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 HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan 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.

Penggunaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri 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 didalam daftar pustaka.

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

Pekanbaru, 13 November 2020

Yang membuat pernyataan,

TIKO ARJANATI PUTRA

NIM. 11655101127

UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"Seandainya kami mendengarkan atau memikirkan (peringatan itu) niscaya tidaklah kami termasuk penghuni-penghuni neraka yang menyala-nyala". (QS. Al-Mulk : 10)

"Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga." (HR. Muslim, no. 2699)

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Allah ﷻ dan doa dan dukungan dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat di selesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya rasakan dan terimakasih kasih saya kepada:

Allah ﷻ,

Karena atas rahmat dan karunianya lah maka skripsi ini dapat dibuat dan diselesaikan pada waktunya. Puji syukur yang tak terhingga pada Tuhan penguasa alam yang meridhoi dan mengabulkan segala doa hambanya.

Ayah dan Ibunda Tercinta,

Beliaulah yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan saya, sebab tiada kata seindah lantunan doa dan tiada doa yang paling khusuk selain doa yang terucap dari kedua orang tua. Ucapan terimakasih takkan mampu untuk membalas semua kebaikan orang tua. Oleh karena itu terimalah persembahan bakti dan cintaku untuk kalian ayah dan ibuku.

Saudara (Uni dan Abang)

Mereka lah yang senantiasa memberikan dukungan semangat, senyum, dan doanya untuk keberhasilan saya. Kasih sayang dan cinta kalianlah yang selalu menjadi kobaran semangatku. Terimakasih untuk kalian.

Teman-Teman

Mereka lah yang selalu memberi saya motivasi utuk tetap semangat.

Motto

Semakin tahu aku maka semakin hinalah diriku karena ketahuan diriku !

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 DAN SUHU EKSTERNAL TERHADAP SUSUT UMUR TRANSFORMATOR (Studi Kasus : PT PLN (Persero) Gardu Induk Garuda Sakti)

Tiko Arjanati Putra
NIM : 11655101127

Tanggal Sidang : 13 November 2020

Tanggal Wisuda :

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Dewasa ini dengan meningkatnya konsumsi listrik, PLN sebagai penyedia energi listrik sering mengalami permasalahan kerugian daya pada jaringan distribusi, salah satu penyebabnya dikarenakan pembebanan yang tidak merata yang mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan beban dari setiap fasanya. Selain itu ketidakseimbangan beban dan suhu eksternal transformator akan mempengaruhi suhu yang terjadi pada transformator, sehingga akan mempengaruhi performa serta terjadinya susut umur pada transformator. Tujuan dalam penelitian ini untuk menganalisis pengaruh ketidakseimbangan terhadap *losses* sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan serta menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban dan suhu eksternal terhadap susut umur transformator sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan. Dalam mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini melakukan proses penyeimbangan beban di setiap fasanya dengan studi kasus Gardu Induk Garuda sakti menggunakan simulasi *software* ETAP 12.6.0. Maka didapatkan hasil penelitian setelah dilakukan penyeimbangan *losses* turun dari 3,7% A sampai nilai 0,2 % A dan mengurangi susut umur transformator dari 2,84 tahun sampai 1,93 tahun pada suhu rata-rata lingkungan 30°C akibat pengaruh ketidakseimbangan dan suhu eksternal yang terjadi.

Kata Kunci : Sistem Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, *Losses*, Transformator

ANALYSIS OF THE EFFECT OF UNBALANCED EXTERNAL LOAD AND TEMPERATURE ON TRANSFORMATOR LIFE LOSS.

(Case study : PT PLN (Persero) Gardu Induk Garuda Sakti)

Trial Date: 13 November

Graduation Date:

*Electrical Engineering Study Program
Faculty of Science and Technology
Sultan Syarif Kasim State Islamic University, Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

Nowadays with increasing electricity consumption, PLN as a provider of electrical energy often experiences power loss problems in the distribution network, one of the causes is due to uneven loading which results in an imbalance of the load for each phase. In addition, the imbalance of the load and the external temperature of the transformer will affect the temperature that occurs in the transformer, so that it will affect the performance and the occurrence of age losses in the transformer. The purpose of this study was to analyze the effect of imbalance on losses before and after balancing and to analyze the effect of load imbalance and external temperature on the shrinkage of transformer life before and after balancing. In overcoming this problem, this study carried out a load balancing process in each phase with a case study of the Garuda Sakti substation using the ETAP 12.6.0 simulation software. Then the results obtained after balancing the losses decreased from 3.7% A to 0.2% A and reduced the shrinkage of the transformer from 2.84 years to 1.93 years at an average temperature of 30 ° C due to the influence of imbalance and external temperature that occurs

Keywords: Distribution System, Load Imbalance, Losses, Transformer

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.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Dan Suhu Eksternal Terhadap Susut Umur Transformator (Studi Kasus : PT PLN (Persero) Gardu Induk Garuda Sakti)**. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan dari kita semua kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga kita termasuk kedalam golongan orang-orang yang mendapat syafa'at beliau diakhir zaman kelak. Amin.

Alhamdulillah, 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. Kedua Orang tua penulis, Bapak Nazwir dan Ibu Tirana yang senantiasa mendoakan penulis, membantu secara moril maupun materil.
2. Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Dr.Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku Ketua Prodi Teknik Elektro
5. Bapak Oktaf Brilliant Kharisma, S.T, M.T sebagai Penasehat Akademik, yang selalu sabar dalam memberikan arahan serta nasehatnya selama kuliah.
6. Ibu Dr. Liliana, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan, motivasi, kritikan dan saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Arif Marsal, Lc. M.A selaku Ketua Sidang, Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku dosen penguji 1 dan ibu Marhama Jelita S. Pd, M.Sc selaku dosen penguji 2 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

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.

8. Bapak Ahmad Faizal ST., MT selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro yang telah membantu memberi arahan prosedur dalam penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

9. Seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro yang tak ragu berbagi ilmu kepada penulis dari awal hingga akhir perkuliahan.

10. Bapak Anton dan seluruh karyawan/i di PT. PLN (Persero) UPT, UP2D dan GI Garuda Sakti Kota Pekanbaru yang telah banyak membantu peneliti dalam melengkapi kebutuhan data dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

11. Kepada semua teman-teman dekat penulis baik itu teman di organisasi, di Ma'had Aljami'ah Wihdah Abu Bakar dan teman satu Program Studi Teknik Elektro UIN SUSKA RIAU.

12. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Amin.

Wassalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh

Pekanbaru, 13 November 2020

Penulis,



Tiko Arjanati Putra

NIM. 11655101127

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR LAMBANG	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	I-1
1.2. Rumusan Masalah.....	I-6
1.3. Batasan Masalah	I-6
1.4. Tujuan Penelitian.....	1-6
5. Manfaat Penelitian	I-7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2. Studi Literatur	II-1
2. Landasan Teori	II-3
2.1. Transformator.....	II-3
2.2. Prinsip Kerja Transformator.....	II-3
2.2.3. Komponen Transformator	II-4
2.2.4. Jenis- jenis transformator	II-6
2.2.5. Sistem Distribusi.....	II-8
2.2.6. Kabel Jaringan Tegangan Rendah	II-9
2.2.7. <i>Software</i> ETAP (<i>Electric Transient and Analysis Program</i>)	II-10

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.

2.8.	Daya Pada Saluran Distribusi.....	II-13
2.9.	Beban Penuh Transformator.....	II-14
2.10.	Ketidakseimbangan Beban.....	II-15
2.11.	Arus Netral.....	II-18
2.12.	Rugi Pada Arus Netral.....	II-18
2.13.	Penyeimbangan Beban.....	II-19
2.14.	Pemeliharaan Transformator.....	II-20
2.15.	Pengaman Pada Transformator.....	II-21
2.16.	<i>Trendline Microsoft Excel</i>	II-22
2.17.	Isolasi Transformator.....	II-22
2.18.	Tipe Pendingin Transformator.....	II-23
2.19.	Umur Transformator.....	II-24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3. 1.	Jenis Penelitian.....	III-1
3. 2.	Lokasi Penelitian.....	III-1
3. 3.	Sumber Data.....	III-1
3. 4.	Tahapan penelitian.....	III-1
3.4.1.	Identifikasi Masalah.....	III-3
3.4.2.	Studi Literatur.....	III-3
3.4.3.	Pengumpulan Data Sekunder.....	III-3
3.4.4.	Menghitung Sebelum Penyeimbngan.....	III-7
3.4.5.	Melakukan Penyeimbangan.....	III-8
3.4.6.	Simulasi Aliran.....	III-10
3.4.7.	Menghitung Setelah Penyeimbangan.....	III-10
3.4.8.	Hasil dan Analisa Keadaan.....	III-13

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4. 1.	Perhitungan Sebelum Penyeimbangan.....	IV-1
4.1.1.	Menghitung Arus Total.....	IV-1
4.1.2.	Menghitung Arus Rata-rata.....	IV-2
4.1.3.	Menghitung Ketidakseimbangan Beban.....	IV-3
4.1.4.	Menghitung Rugi-Rugi Daya.....	IV-5
4.1.5.	Menghitung Susut Umur Transformator.....	IV-6

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.

4.2.	Melakukan Penyeimbangan Beban.....	IV-8
4.2.1.	Analisis Wilayah Penyulang	IV-9
4.2.2.	<i>Input</i> Data.....	IV-12
4.2.3.	Penyeimbangan Beban.....	IV-14
4.3.	Simulasi aliran	IV-16
4.4.	Perhitungan Setelah Penyeimbangan Beban	IV-17
4.6.1.	Menghitung Ketidakseimbangan Beban	IV-17
4.6.2.	Menghitung Arus Netral	IV-18
4.6.3.	Menghitung Rugi-Rugi Daya	IV-19
4.5.	Menghitung suhu	IV-20
4.6.4.	Perhitungan Susut Umur Transformator.....	IV-24
4.6.	Hasil dan Analisa Keadaan	IV-26
4.7.1.	Ketidakseimbangan Beban.....	IV-26
4.7.2.	Arus Netral.....	IV-27
4.7.3.	Rugi-rugi Daya	IV-27
4.7.4.	Susut Umur Transformator.....	IV-28

BAB 5 PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Transformator.....	II-4
Gambar 2. 2 Konstruksi Belitan	II-5
Gambar 2. 3 Inti Besi	II-5
Gambar 2. 4 Skema Sistem Jaringan Distribusi	II-9
Gambar 2. 5 Elemen-elemen AC di ETAP	II-12
Gambar 2. 6 Simbol Transformator 2 kawat	II-12
Gambar 2. 7 Simbol Load	II-12
Gambar 2. 8 Simbol Pemutus Tegangan.....	II-13
Gambar 2. 9 Simbol Bus	II-12
Gambar 2. 10 Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Seimbang.....	II-14
Gambar 2. 11 Vektor Diagram Arus yang Tidak Seimbang	II-15
Gambar 2. 12 Pendingin Tipe ONAN.....	II-22
Gambar 2. 13 Pendingin ONAF	II-22
Gambar 3. 1 <i>Singel Line Diagram</i> Transformator 1 GI Garuda Sakti.....	III-4
Gambar 3. 2 Merubah Fasa Pada <i>Software</i> ETAP 12.6.0	III-10
Gambar 3. 6 Data Transformator.....	III-13
Gambar 4. 1 Input Data Power Grid	IV-12
Gambar 4. 2 Input Data Beban	IV-14
Gambar 4. 3 Input Data Short Circuit	IV-14
Gambar 4. 4 Phasa Adabter.....	IV-15
Gambar 4. 5 Phasa Adabter Pada Jaringan	IV-15
Gambar 4. 6 Merubah Fasa Pada <i>Software</i> ETAP 12.6.0	IV-16
Gambar 4. 7 Run Load Flow	IV-16
Gambar 4. 8 <i>Report Manager</i>	IV-16
Gambar 4. 9 <i>Trendline</i> Suhu Minyak	IV-21
Gambar 4. 10 <i>Trendline</i> Suhu Belitan	IV-22
Gambar 4. 11 Ketidakseimbangan Beban Sebelum dengan Sesudah Penyeimbangan	IV-25
Gambar 4. 12 Perbandingan Arus Netral Sebelum dengan Sesudah Penyeimbangan	IV-27
Gambar 4. 13 Perbandingan <i>Losses</i> Sebelum dengan Sesudah Penyeimbangan	IV-27
Gambar 4. 14 Susut Umur Transformator Sebelum dengan Sesudah Penyeimbangan	IV-28

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Kelas isolasi dan suhu tertinggi.....	II-20
Tabel 2. 2 Batas Kenaikan Suhu Jenis Terendam Minyak.....	II-21
Tabel 3. 2 Data Pembebanan dan Transformator 1	III-5
Tabel 3. 3 Data Suhu Transformator 1.....	III-6
Tabel 3. 4 Karakteristik Termal Jenis Pendingin ONAN	III-6
Tabel 3. 5 Data Komponen ETAP 12.6.0	III-8
Tabel 4. 1 Spesifikasi Transformator.....	IV-3
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Arus Rata-rata dan Pembebanan.....	IV-2
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Sebelum Penyeimbangan	IV-4
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Rugi-rugi Daya Sebelum Penyeimbangan	IV-6
Tabel 4. 5 Suhu Titik Pemas.....	IV-7
Tabel 4. 6 Susut Umur Transformator	IV-7
Tabel 4. 7 Arus pada setiap penyulang	IV-10
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Penyeimbangan Beban ETAP 12.6.0	IV-17
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Setelah Penyeimbangan	IV-18
Tabel 4. 10 Arus Netral Setelah Penyeimbangan	IV-19
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Rugi-rugi Daya Setelah Penyeimbangan	IV-19
Tabel 4. 12 Tabel data trendline	IV-20
Tabel 4. 13 Suhu Transformator Setelah Penyeimbangan Beban	IV-23
Tabel 4. 14 Suhu Titik Pemas	IV-25
Tabel 4. 15 Susut Umur Transformator	IV-25

DAFTAR RUMUS

		Halaman
2.1	Tegangan Primer.....	II-4
2.2	Tegangan Sekunder.....	II-4
2.3	Perbandingan Tegangan Dengan Lilitan.....	II-4
2.4	Perbandingan Tegangan dan Arus.....	II-4
2.5	Perbandingan Transformator Ideal.....	II-4
2.6	Daya Saluran Distribusi.....	II-12
2.7	Daya Saluran Distribusi.....	II-13
2.8	Nilai Arus Seimbang.....	II-13
2.9	Daya Transformator.....	II-14
2.10	Arus Beban Penuh.....	II-14
2.11	Arus Rata-rata.....	II-14
2.12	Persentase Pembebanan.....	II-14
2.13	Koefesien Arus R.....	II-15
2.14	Koefesien Arus S.....	II-15
2.15	Koefesien Arus T.....	II-15
2.16	Persentase Ketidakseimbangan.....	II-16
2.17	Arus Netral.....	II-17
2.18	Rugi-rugi Daya.....	II-17
2.19	Persentase Rugi-rugi.....	II-18
2.20	Gradien Titik Panas.....	II-24
2.21	Kenaikan Suhu Titik Panas.....	II-24
2.22	Suhu Titik Panas.....	II-25
2.23	Nilai Penuaan Relatif.....	II-25
2.24	Periode Susut Umur.....	II-26
2.25	Umur Transformator.....	II-26

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

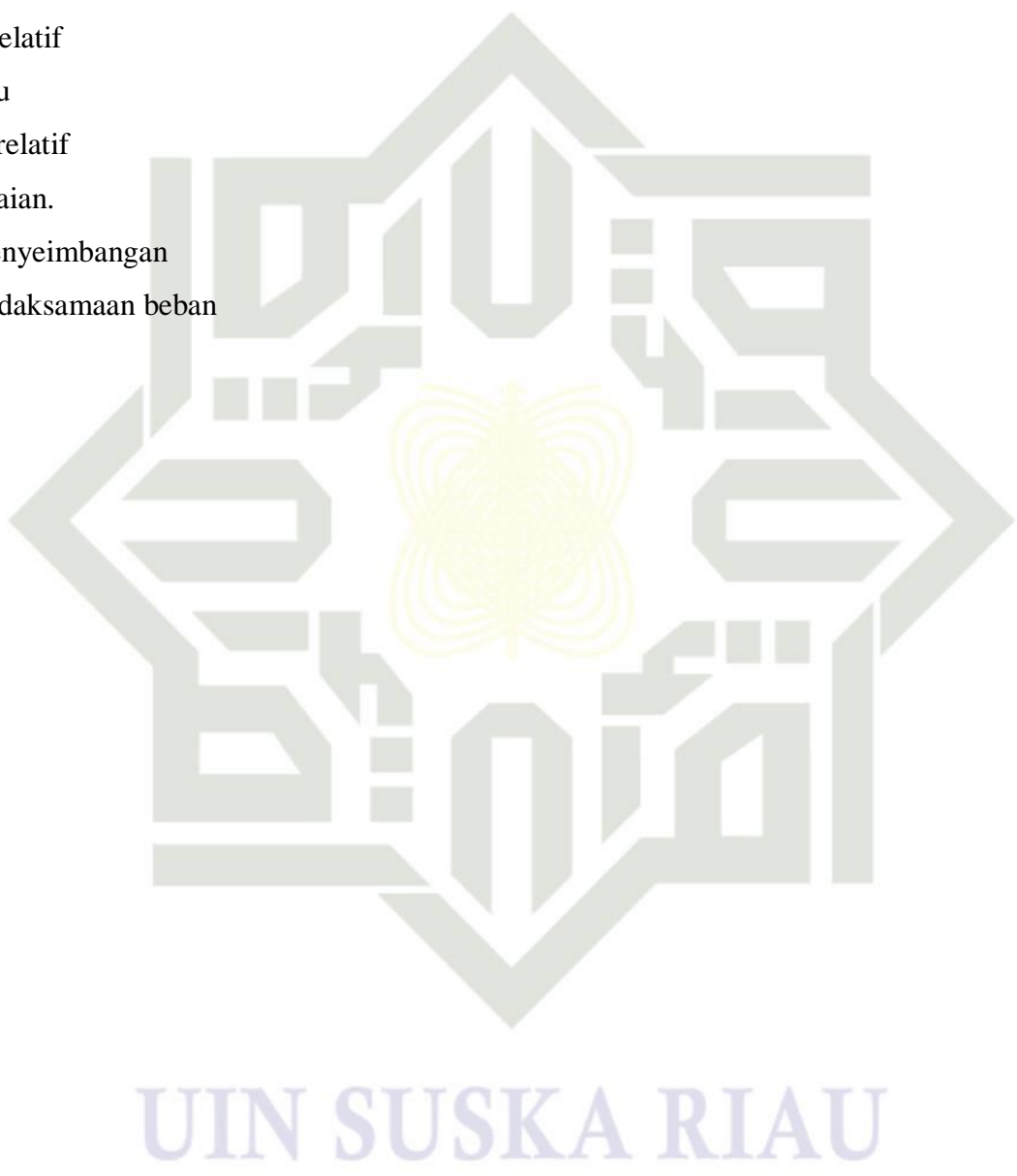
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang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

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

DAFTAR LAMBANG/NOTASI

$\frac{d\phi}{dt}$	=	Perubahan fluks magnet
V_p	=	ggl induksi/tegangan sesaat pada kumparan primer
V_s	=	ggl induksi/tegangan sesaat pada kumparan sekunder
N_1	=	Jumlah lilitan kumparan primer
N_2	=	Jumlah lilitan kumparan sekunder
P_p	=	Daya Primer
P_s	=	Daya Sekunder
P	=	daya pada ujung
V	=	tegangan pada ujung
$\cos \phi$	=	faktor daya
S	=	daya tarfo
V	=	tegangan sisi primer
I	=	Arus jala-jala
I_R	=	Arus fasa R
I_S	=	Arus fasa S
I_T	=	Arus fasa T
I_N	=	Arus fas N
S	=	daya tarfo
V	=	tegangan sisi primer
I	=	arus jala-jala
I_{FL}	=	Arus beban penuh
P_N	=	Losses pada penghantar netral trafo
R_N	=	Tahanan penghantar netral trafo
H_{gr}	=	gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal
H	=	faktor titik panas
$\Delta\theta_{wr}$	=	kenaikan suhu belitan rata-rata
$\Delta\theta_{im}$	=	kenaikan suhu minyak rata-rata
$\Delta\theta_h$	=	kenaikan suhu titik panas belitan
$\Delta\theta_{ir}$	=	kenaikan suhu minyak atas
R	=	rasio rugi-rugi
K	=	Konstanta

- 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.



- H = faktor titik panas
- H_{gr} = gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal.
- θ_h = suhu titik panas
- θ_a = suhu sekitar
- $\Delta\theta_h$ = kenaikan suhu titik panas belitan
- θ_h = suhu titik panas dalam °C
- V = nilai penuaan relatif
- t = Konstanta waktu
- V = Nilai penuaan relatif
- T = Periode pemakaian.
- Y = Suhu setelah penyeimbangan
- X = persentase ketidaksamaan beban

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

AAAA	=	All Aluminium Alloy Conductor
AC	=	Alternating Current
ANSI	=	American National Standards Institute
DC	=	Direct Current
ETAP	=	Electrical Transient And Analysis Program
GGL	=	Gerak Gaya Listrik
GI	=	Gardu Induk
HST	=	Hot Spot Temperature
IEC	=	International Electrotechnical Commission
IEEE	=	Institute Of Electrical and Electronics Engineers
JTM	=	Jaringan Tegangan Menengah
JTR	=	Jaringan Tegangan Rendah
LVTC	=	Low Voltage Twisted Cable
SKUTR	=	Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah
SUTR	=	Saluran Udara Tegangan Rendah
TOT	=	Top Oil Temperature
ONAF	=	Oil Natural Air Force
ONAN	=	Oil Natural Air Natural
OFAF	=	Oil Force Air Force
SPLN	=	Standar Perusahaan Listrik Negara

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.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik Indonesia semakin meningkat, ini diketahui dari data pada tahun 2016 konsumsi listrik Indonesia mencapai 956 kWh per kapita, sementara ditahun 2018 lalu konsumsi listrik di Indonesia sudah menembus 1.064 kWh per kapita [1]. Meningkatnya listrik ini dapat dilihat salah satunya di sektor rumah tangga, karena konsumsi rumah tangga dipengaruhi oleh meningkatnya penggunaan barang elektronik. Berdasarkan data Riset GfK TEMAX Indonesia menyatakan bahwa sepanjang Januari-Juni 2018 saja, penjualan barang konsumsi berteknologi (*technical consumer goods*) di Tanah Air mencapai Rp 79,51 triliun. Oleh karena itu, meningkatnya kebutuhan ini harus diiringi atau didukung oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam memproduksi listrik dengan baik.

PLN sudah melakukan upaya dalam meningkatkan kapasitas distribusi listrik kepada konsumen terkhusus rumah tangga. Upaya yang telah dilakukan seperti dengan menambah sektor pembangkit, memperkecil tahanan konduktor dengan memperluas penampang kapasitor, serta memperkecil faktor daya dengan memasang kapasitor kompensasi (*Shut Capacitor*). Namun sejauh ini pihak PLN belum mampu memaksimalkan dalam mengatasi masalah tersebut, seperti halnya berkaitan dengan masalah kerugian daya yang terjadi pada jaringan distribusi, ini bisa dikarenakan panjangnya jaringan distribusi dan terjadinya pembebanan yang tidak merata [2].

Pembebanan yang tidak merata dalam pendistribusian daya listrik ke konsumen khususnya rumah tangga, seringkali mengalami gangguan karena tidak seimbang beban dari satu fasa dengan fasa lainnya. Akibatnya, arus *supply* pada transformator tidak merata setiap fasanya, karena banyaknya pemasangan pelanggan baru pada jaringan tanpa memperhatikan fasa yang terpasang melebihi batas maksimal tiap fasanya. Selain itu, kurangnya melakukan pengawasan langsung dilapangan oleh pihak PLN, sehingga terjadi beban dari tiga fasa (RST) tidak seimbang. Oleh karena itu, pembebanan yang tidak merata ini salah satu yang mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan beban dari setiap fasanya [3].

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik sering terjadi, penyebab ketidakseimbangan tersebut terjadi pada beban-beban satu fasa di pelanggan

aringan tegangan rendah (JTR). Ini dikarenakan pembebanan setiap fasa di jaringan distribusi tidak seimbang, sehingga ketidakseimbangan beban tersebut munculnya aliran arus di netral trafo, serta mengakibatkan timbulnya rugi-rugi daya (*losses*) akibat dari mengalirnya arus netral yang akan membuat kurang baiknya kualitas arus yang mengalir kepada beban atau konsumen.

Selain itu, terjadinya rugi-rugi daya (*losses*), ketidakseimbangan beban juga mempengaruhi suhu (*thermal*) pada transformator, karena ketidakseimbangan, akan meningkatkan pembebanan pada fasa transformator, dan apabila transformator bekerja 100% dalam keadaan pembebanan yang besar tersebut, performansi transformator sendiri akan mengalami penurunan, seperti kegagalan listrik, mekanik, dan sampai kepada susutnya umur transformator [4].

Pada studi kasus yang pernah dilakukan di Gardu Induk di daerah Jawa Timur, salah satu transformator daya yang digunakan meledak akibat transformator bekerja di titik 100% dalam keadaan suhu dan pembebanan pada transformator yang sangat besar. Transformator begitu penting dalam pendistribusian energi listrik maka dibutuhkan perhatian khusus pada transformator dalam hal pembebanannya agar suhu pada transformator saat bekerja tidak melampaui batas standar yang ditetapkan. Batas rata-rata kenaikan suhu standard belitan 65 °C, *hotspot* 80 °C dan *top oil* 65 °C, sedangkan menurut publikasi *International Electrotechnical Commission* (IEC) tahun 1968 suhu *hotspot* dalam keadaan *overload* di suhu 140 °C, dan ketika melampaui batas standar tersebut maka akan mengurangi umur transformator yang diharapkan [5].

Menurut IEEE pelayanan hidup dari transformator mencapai 20,55 tahun, sedangkan menurut IEC tidak ditentukan secara spesifik tapi biasanya hingga 30 tahun [5]. Transformator berumur pendek diakibatkan adanya kegagalan isolasi yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti, suhu titik panas (*hotspot*), suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*), suhu minyak atas pada transformator dan variasi pembebanan yang didapat oleh transformator tersebut [5]. Suhu *hotspot* merupakan faktor yang paling penting dalam menentukan tingkat kemampuan isolasi transformator [5].

Isolasi pada transformator dirancang serta dikembangkan dengan harapan kinerja transformator menjadi andal dan hemat. Penuaan transformator dievaluasi dengan menggunakan suhu tertinggi, *hot spot temperature* (HST). Peningkatan suhu minyak bagian atas, *top oil temperature* (TOT) seiring dengan peningkatan *hot spot temperature* memiliki efek mengurangi umur isolasi pada transformator. Kondisi tidak normal, seperti pembebanan

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.

yang lebih, sumber beban *non sinusoidal* atau paparan suhu lingkungan lebih tinggi, dapat mempercepat penuaan dan dengan demikian mempercepat umur harap. Peningkatan *top oil temperature* dan *hot spot temperature* mempercepat berakhirnya umur harap transformator [6].

Isolasi yang berfungsi sebagai pendingin transformator sehingga mampu meminimalisir panas yang timbul pada transformator, salah satu isolasi yang digunakan adalah isolasi cair berupa isolasi minyak dan isolasi belitan [6]. Oleh karena itu cara mengetahui keadaan suhu transformator (*hotspot*) perlu diketahui suhu isolasi belitan, karena faktor laju penuaan tertinggi terjadi pada *hotspot* yang mengalami suhu maksimum. Suhu *hotspot* harus berada di bawah titik batas suhu yang diizinkan supaya transformator memiliki harapan hidup yang panjang, karena akan berpengaruh kepada susut umur transformator tersebut [7].

Pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang meliputi pekerjaan pemeriksaan, pencegahan, perbaikan dan penggantian peralatan pada sistem jaringan distribusi secara terjadwal atau tidak. Salah satu contoh dari pemeliharaan distribusi adalah penyeimbangan beban. Penyeimbangan beban ini juga memberikan pengaruh yang besar terhadap umur trafo [2]. Karena jika pada salah satu fasa bebannya sudah melebihi batas yang diperbolehkan, maka akan dapat menyebabkan *obstick* kabel pada gardu tersebut terbakar. Beban yang sudah melebihi batas tersebut dapat ditandai dengan fuse atau sekering pada gardu akan panas dan mengeluarkan asap jika terlalu berlebihan. Jika hal tersebut terjadi dan tidak segera dilakukan penyeimbangan beban maka dapat menyebabkan fasa tersebut akan bersinggungan dengan fasa lainnya yang akan membuat trafo tersebut meledak [8].

Penyeimbangan beban adalah suatu kegiatan yang terdiri dari pengukuran awal, hingga pemerataan beban tiap fasa yang tidak seimbang yang bertujuan agar arus pada netral tersebut berkurang, sehingga mengurangi kerugian terhadap PLN tersebut [8]. Solusinya yaitu dengan cara memindahkan sebagian beban pada rute yang berat ke rute lainnya yang bebannya masih ringan yang dilakukan yaitu pada tiang tegangan rendah (TR) atau pada sambungan rumah (SR) [8].

Dari penelitian sebelumnya dalam hal mengatasi permasalahan gangguan rugi-rugi daya dan meningkatnya suhu pada transformator yaitu dengan melakukan penyeimbangan beban dengan mengubah hubungan fasa transformator fasa ke pada penyulang yang diamati. Hasil yang terjadi setelah melakukan penyeimbangan penurunan suhu dari 62°C menjadi 45,9°C dan mengurangi nilai rugi-rugi daya menjadi 0-0,13% [4]. Tetapi, pada penelitian

ini belum melakukan penelitian terhadap pengaruh susut umur transformator yang terjadi. Karena penelitian yang sudah dilakukan dan referensi yang peneliti dapatkan menyatakan kalau pengaruh suhu akan berpengaruh terhadap kerja dan umur transformator [9].

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan, suhu lingkungan rata-rata tahunan di Indonesia adalah 30 °C dan tingkat suhu lingkungan rata-rata harian 33 °C dimana transformator distribusi dioperasikan [10]. Sedangkan produksi lokal maupun eks – impor di desain dengan Standar IEC yaitu untuk digunakan pada suhu rata-rata tahunan 20 °C dan suhu rata-rata harian 30 °C dimana transformator distribusi dioperasikan. Karena perbedaan suhu ini maka laju relatif pemburukan termis isolasi transformator yang beroperasi di Indonesia lebih cepat disebabkan kegagalan isolasi transformator [6]. Dengan itu menunjukkan peningkatan suhu transformator juga terjadi disebabkan suhu lingkungan (eksternal), karena suhu eksternal akan mempengaruhi isolasi transformator dalam mengatasi peningkatan suhu akibat pembabanan atau rugi-rugi yang terjadi pada transformator [6].

Gardu Induk Garuda Sakti merupakan salah satu gardu induk jaringan distribusi di Pekanbaru yang berkapasitas tegangan 20 kV. Gardu Induk Garuda Sakti memiliki 4 Transformator dengan kapasitas 60 MVA. Jenis Transformator yang digunakan adalah 3-*winding*. dan memiliki 31 penyulang (*feeder*), Transformator 1 mempunyai 8 penyulang dan Transformator 2 mempunyai 8 penyulang, Transformator 3 mempunyai 9 penyulang, dan penyulang 4 mempunyai 6 penyulang [11].

Penyulang Gardu Induk garuda sakti tersebar di sekitaran daerah pekanbaru dengan kapasitas transformator distribusi 200 kVA. Penyulang ini mengalami peningkatan beban diakibatkan pertumbuhan ekonomi sehingga terjadinya pembebanan dipenyulang setiap fasanya (RST) tidak merata dan seimbang [12]. Kecenderungan peningkatan kebutuhan energi listrik saat ini tidak seiring dengan peningkatan penyediaan energi listrik, disisi lain kapasitas daya sumber energi listrik masih tetap, sementara disisi lainnya kebutuhan masyarakat terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kegiatan penduduknya.

Berdasarkan hasil wawancara peneliti dengan bapak Anton sebagai staff PLN UPT Pekanbaru, pembebanan yang meningkat karena banyaknya jumlah konsumen (beban) seperti pada penyulang penyulang F2 Mujair di wilayah Garuda Sakti Kecamatan Tampan sekitarnya akan berpengaruh terhadap proses distribusi listrik sendiri, seperti terjadinya ketidakseimbangan beban akibat arus netral yang terjadi. Selain itu, dari penjelasan yang

sudah tuliskan di paragraf sebelumnya, pembebanan yang meningkat juga akan berpengaruh kepada transformator sendiri akibat meningkatnya temperatur suhu pada transformator yang berakibat kepada umur transformator sendiri. Dalam mengatasi hal tersebut pihak Gardu Induk Garuda Sakti sudah melakukan usaha dengan memindahkan sebagian beban pada rute (fasa) yang berat ke rute (fasa) lainnya yang bebannya masih ringan, dengan harapan distribusi listrik ke beban (konsumen) lancar, tetapi pihak Gardu Induk Garuda Sakti sendiri belum sampai menganalisa pengaruh ketidak seimbangan itu akan meningkatnya suhu dan mengurangi umur transformator disaat terjadi ketidakseimbangan.

Dari permasalahan tersebut pada penelitian ini peneliti akan mengidentifikasi keadaan ketidakseimbangan beban di beban-beban yang sumber arusnya di *supply* dari Gardu Induk Garuda Sakti, selanjutnya penelitian ini akan melakukan penyeimbangan beban penyeimbangan beban ini akan mengurangi suhu pada transformator dan akan memperpanjang umur pada transformator dalam beroperasi setelah dilakukan penyeimbangan.

Dalam proses penyeimbangan beban ini peneliti menggunakan *software* ETAP 12.6.0 sebagai alat bantu dalam simulasi keadaan setelah dilakukan penyeimbangan, karena *software* ETAP 12.6.0 merupakan jenis *software* simulasi analisis tenaga listrik dengan komponen serta sistem yang tidak jauh dari keadaan lapangan asli, seperti spesifikasi komponen, dan standar-standar yang ada di lapangan. Selain itu *software* ETAP 12.6.0 memudahkan peneliti dalam melakukan simulasi penyeimbangan.

Dari uraian di atas pada penelitian ini peneliti memilih Transformator 1 60 MVA bermerk Unindo yang telah beroperasi pada tanggal 18 juli 2018, memiliki 8 penyulang (*feeder*) dengan transformator distribusi 200 kVA, pembebanan pada setiap penyulang ini hingga mencapai 1270 (A), untuk rata-rata penyulang yang harus dialiri arus beban sebesar 190-250 (A) tiap penyulangnya. Dengan pembebanan yang besar tersebut, akan sangat berpotensi kepada cepat terjadinya kenaikan suhu, ini karena suhu eksternal yang berubah-ubah akan mempengaruhi isolasi transformator dalam terjadinya ketidakseimbangan, dan akibatnya akan mempengaruhi susut umur pada transformator distribusi GI Garuda Sakti.

Semakin besar arus yang mengalir, apabila tidak dilakukan perhatian khusus, maka akan terjadi arus pada penghantar netral akibat ketidakseimbangan, maka akan semakin besar pula rugi-rugi daya yang berpotensi meningkatnya suhu yang ditimbulkan akibat suhu

- 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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

eksternal, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu selalu diusahakan suatu pembagian beban pada tiap-tiap fasa transformator agar dapat setimbang agar nilai rugi-rugi yang terjadi berkurang dan umur transformator yang panjang.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini peneliti mengakat judul **Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Dan Suhu Eksternal Terhadap Susut Umur Transformator**, degan memilih Gardu Induk Garuda Sakti sebagai tempat pengambilan data dan penelitian.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang maka permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan terhadap rugi-rugi daya ?
2. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan dan suhu eksternal terhadap susut umur transformator ?
3. Bagaimana pengaruh penyeimbangan terhadap rugi-rugi daya ?
4. Bagaimana pengaruh penyeimbangan dan suhu eksternal terhadap susut umur transformator ?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Melakukan penyeimbangan pada 7 penyulang di transformator 1 Gardu Induk Garuda Sakti
2. Menentukan nilai susut umur transformator menggunakan data sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan.
3. Dalam menghitung pembebanan tidak sampai mengidentifikasi sudut fasa dari antar fasanya.

1.4. Tujuan Penelitian

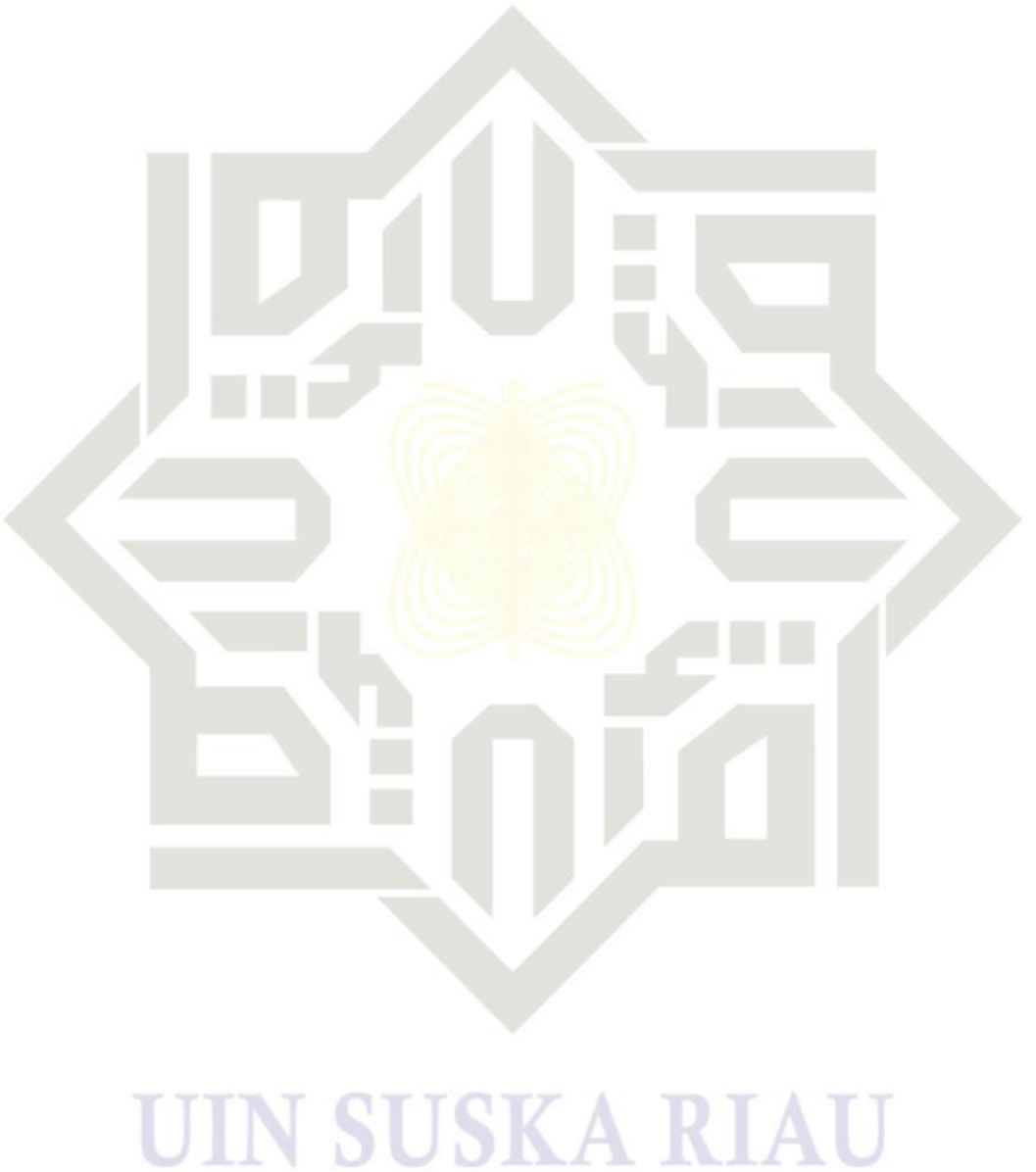
Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan terhadap rugi-rugi daya
2. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan dan suhu eksternal terhadap susut umur transformator
3. Menganalisis pengaruh penyeimbangan terhadap rugi-rugi daya
4. Menganalisis pengaruh penyeimbangan dan suhu eksternal terhadap susut umur transformator

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk informasi dan solusi dalam mengatasi terjadinya rugi-rugi daya akibat arus netral.
2. Untuk informasi dan solusi penyebab susut umur transformator
3. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan teknologi, terutama pada jurusan teknik elektro.



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 II TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya, tinjauan pustaka terkait dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian penelitian **Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Dan Suhu Eksternal Terhadap Susut Umur Transformator**.

Penelitian mengenai ketidakseimbangan beban yang dilakukan di transformator 1 Gi Sondol, mendapatkan hasil bahwa untuk mengatasi rugi-rugi akibat arus netral dapat dilakukan dengan menyeimbangkan beban dengan *software* Etap 12.6.0 [4], dengan dilakukannya penyeimbangan nilai rugi-rugi mengalami penurunan. Selain itu penelitian ini menginformasikan penyeimbangan ini akan menurunkan suhu isolasi transformator akibat ketidakseimbangan beban, tetapi penelitian ini belum sampai membahas susut umur transformator yang terjadi

Penelitian dengan perkiraan umur transformator tenaga yang dilakukan di Gardu Induk Banyudono berdasar variasi pembebanan [5]. Menyatakan pengaruh variasi pembebanan akan berpengaruh terhadap susut umur trafo. dengan menggunakan metode perhitungan berdasarkan rumus minyak bagian atas, titik *hotspot*, dan suhu lingkungan transformator, dapat ditemukan laju penuaan dan harapan hidup transformator, Dalam penelitian ini juga dibuat perbandingan harapan hidup transformator saat beban penuh dan beban biasa, tetapi penelitian ini belum mengidentifikasi pengaruh suhu lingkungan terhadap susut umur yang bisa terjadi.

Penelitian dalam menganalisis pengaruh suhu akibat pembebanan terhadap susut umur transformator daya di Gardu Induk Lambaro [13]. Meneliti nilai temperatur *Hot Spot* transformator daya, kemudian membandingkan nilai yang ditargetkan PLN serta mendapatkan besar susut umur dari transformator dengan menggunakan metode IEC354 tahun 1972, tetapi penelitian ini belum mengidentifikasi pengaruh suhu lingkungan terhadap susut umur yang bisa terjadi.

Penelitian dengan menganalisis ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 kV dan solusinya pada jaringan tegangan rendah [14], bertujuan untuk memperoleh informasi ketidakseimbangan beban transformator distribusi, untuk mengetahui pengaruh

arus netral terhadap rugi-rugi daya dan solusi ketidakseimbangan pada jaringan tegangan rendah dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. tetapi penelitian tidak sampai mengidentifikasi pengaruhnya ketidakseimbangan terhadap susut umur yang terjadi.

Penelitian Ketidakseimbangan Beban Dan *Losses* Berdasarkan Pembebanan Terbesar 3 Unit Transformator Distribusi 3 Fasa *Feeder* Hangtuh Duri Riau [3]. Penelitian ini bertujuan melakukan perbandingan keadaan ketidakseimbangann pada saat malam hari dan siang hari, peneliti ini juga melihat keadaan ketidakseimbangan melalui *software* ETAP 12.6.0. Hasil dari penelitian ini Ketidakseimbangan beban trafo akan memunculkan arus di netral trafo dan mengakibatkan *losses* atau rugi-rugi daya pada trafo distribusi. Selain itu, dari data hasil pengukuran dan hasil simulasi etap terjadi perbedaan nilai yang relatif kecil. Pada penelitian ini tidak mengidentifikasi pengaruhnya terhadap peforma transformator.

Penelitian dengan perhitungan penurunan umur transformator akibat pengaruh suhu lingkungan [6]. Penelitian ini melakukan identifikasi umur transformator dengan melakukan perhitungan pembebanan sesuai dengan karakteristik termal yang didapat dari hasil uji jenis transformator dengan variabel suhu lingkungan. Mendapatkan hasil transformator dirancang untuk beroperasi pada suhu sekitar 20 °C tetapi dioperasikan pada suhu sekitar 30 °C. Ternyata ada beberapa jenis transformator yang tidak mengalami penurunan kapasitas umur. Transformator nomor 2, 3, 4 dan 5 walaupun mengalami penurunan kapasitas masih dapat dioperasikan di atas 91%. Jadi untuk mendapatkan pembebanan yang optimal, harus mengetahui karakteristik termal masing-masing transformator yang didapat dari hasil uji jenis.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, peneliti mendapatkan kesimpulan bahwa penelitian yang telah dilakukan tentang ketidakseimbangan beban dalam hal ini hanya sampai mengidentifikasi rugi-rugi daya yang diakibatkan arus netral dan menurunkan suhu pada transformator, tetapi dalam sumber lain menerangkan ketidakseimbangan beban akan berpengaruh kepada variasi pembebanan yang meningkat [5]. Akibatnya pembebanan yang meningkat ini juga akan berpengaruh kepada peforma transformator [9], dengan pengaruh suhu lingkungan maka transformator akan terjadi penyusutan umur [6]. Maka dalam penelitian ini peneliti selain mengatasi ketidakseimbangan beban akibat dari rugi-rugi daya dan meningkatnya suhu, peneliti juga menganalisis susut umur transformator akibat pengaruh suhu eksternal tersebut dengan metode penyeimbangan beban pada 8 penyulang dan mengidentifikasi nilai ketidakseimbangan, rugi-rugi yang terjadi dan susut umur transformator sesudah dilakukan

penyeimbangan berdasarkan suhu eksternal dengan studi kasus dilakukan di Gardu Induk Garuda Sakti.

2. 2. Landasan Teori

2.2.1 Transformator

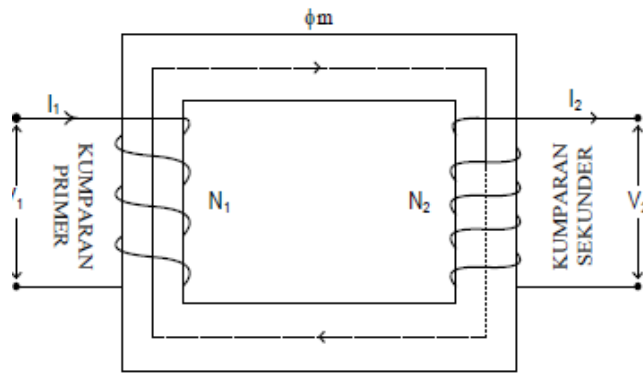
Transformator atau Trafo merupakan salah satu alat listrik yang dapat mengubah tegangan arus bolak balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Bagian utama transformator adalah dua buah kumparan yang keduanya dililitkan pada sebuah inti besi berlapis. Kedua kumparan tersebut memiliki jumlah lilitan yang berbeda. Kumparan yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC disebut kumparan primer, sedangkan kumparan yang lain disebut kumparan sekunder.

Penggunaan transformator yang handal dan sederhana hal ini memudahkan dipilihnya tegangan yang sesuai tergantung kebutuhan. Salah satu yang menjadi penting yaitu penggunaan arus bolak balik yang sangat banyak baik untuk pembangkit sampai dengan penyaluran listrik [3].

2.2.2. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Gerak Gaya Listrik (GGL Induksi) dan hukum *faraday* [15]. yaitu Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC), maka akan terjadinya perubahan arus listrik pada sisi kumparan primer sehingga menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, sehingga fluks magnet yang timbul akan mengalir ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*).

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.



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Transformator [16]

Untuk nilai tegangan dikumparan sebagai berikut :

$$V_p = N_p \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

$$V_s = N_s \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.3)$$

Apabila :

$N_p > N_s = V_p > V_s$ maka trafo *step down*

$N_p < N_s = V_p < V_s$ maka trafo *step up*

Untuk transformator ideal :

$$P_p = P_s$$

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \quad (2.4)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.5)$$

Dimana :

$\frac{d\phi}{dt}$ = Perubahan fluks magnet

V_p = gl induksi/tegangan sesaat pada kumparan primer (V)

V_s = gl induksi/tegangan sesaat pada kumparan sekunder (V)

N_1 = jumlah lilitan kumparan primer

N_2 = jumlah lilitan kumparan sekunder

P_p = Daya Primer

P_s = Daya Sekunder

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

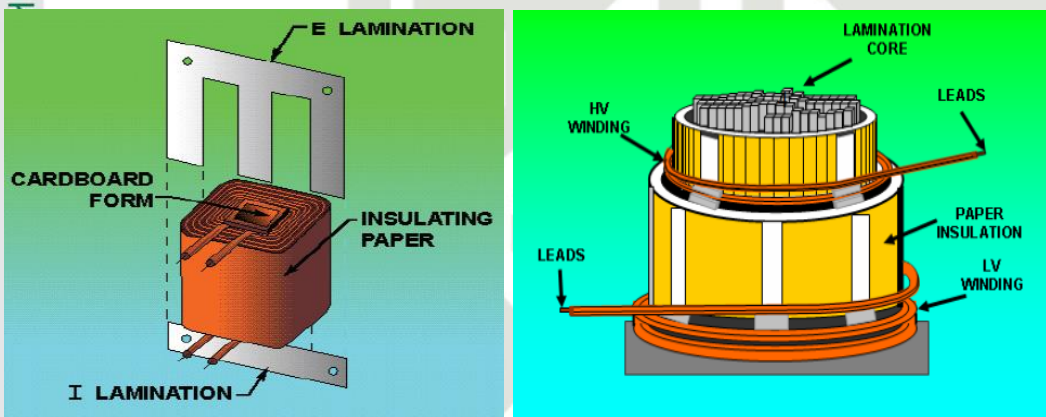
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

2.2.3. Komponen Transformator

Ada beberapa bagian pada transformator sebagai berikut :

2.2.3.1. Kumbaran

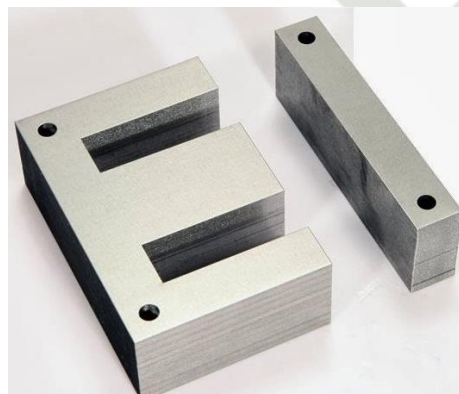
Kumbaran trafo terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi (karton, pertinax, dll) untuk mengisolasi baik terhadap inti besi maupun kumbaran lain. Kumbaran tersebut terdiri dari kumbaran primer dan kumbaran sekunder. Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo sebagai media pendingin. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder [17].



Gambar 2. 2 Konstruksi Belitan [17]

2.2.3.2. Inti besi

Inti besi terbuat lempengan-lempengan feromagnetik tipis dan berlapis yang berguna untuk mempermudah jalannya fluks yang ditimbulkan oleh arus listrik melalui kumbaran. Inti besi ini juga diberi isolasi untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy (*Eddy Current*) [17].



Gambar 2. 3 Inti Besi [17]

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 mengumpukan 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.

2.2.3.3. Minyak trafo

Pada transformator terdapat minyak yang memegang peranan penting dalam sistim pendinginan trafo untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya trafo dan juga sebagai sistim isolasi. Minyak trafo mengandung *naftalin*, *parafin* dan *aromatik*.

Ada beberapa keuntungan minyak trafo sebagai isolasi antara lain : [18]

- a. Isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan *dielektrik* yang lebih tinggi.
- b. Isolasi cairan mengisi celah atau ruang yang akan di isolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi daya.
- c. Isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*).

Fungsi dari minyak trafo adalah :

- a. Insulator yaitu mengisolasi kumparan didalam trafo agar tidak terjadi loncatan bunga api listrik (hubung singkat) akibat tegangan tinggi.
- b. Pendingin yaitu mengambil panas yang diakibatkan beban lalu melepaskannya.
- c. Melindungi yaitu komponen-komponen didalam trafo terhadap korosi dan oksidasi.

2.2.3.4. Bushing

Sebuah konduktor (porselin) yang menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar. Bushing diselubungi dengan suatu isolator dan berfungsi sebagai konduktor tersebut dengan tangki transformator. Selain itu juga bushing juga berfungsi sebagai pengaman hubung singkat antara kawat yang bertegangan dengan tangki trafo [19].

2.2.3.5. Tangki konservator

Untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara sebagai penstabil suhu transformator akibat pemanasan trafo karena arus beban. Dan diantara tangki dan transformator dipasang *relai bucholz*t yang akan menyerap gas produksi akibat kerusakan minyak [19].

2.2.4. Jenis- jenis transformator

2.2.4.1. Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan

Transformator dapat dibedakan berdasarkan pasangan kumparan atau lilitannya

menjadi:

a. Transformator satu belitan

Transformator satu belitan adalah lilitan primer merupakan bagian dari lilitan

sekunder atau sebaliknya. Trafo satu belitan ini lebih dikenal sebagai *auto trafo* atau trafo

hemat

b. Transformator dua belitan

Trafo dua belitan adalah trafo yang mempunyai dua belitan yaitu sisi tegangan

tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana kumparan sekunder dan primer berdiri sendiri.

c. Transformator tiga belitan

Trafo tiga belitan adalah trafo yang mempunyai belitan primer, sekunder dan

tersier, masing masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda.

2.2.4.2. Transformator Berdasarkan Fungsi

Ada jenis transformator berdasarkan fungsinya sebagai berikut [20]:

a. Transformator Daya

Transformator daya adalah trafo yang digunakan untuk pemasok daya. dengan

fungsi untuk menaikkan tegangan listrik (*steep-up*) dan menurunkan tegangan listrik (*step-*

down). Transformator daya harus menurunkan tegangan dari transmisi, karena tidak

digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih

tinggi dari tegangan beban

Trafo berfungsi sebagai *step-up* pada sistem dimana tegangan keluaran lebih tinggi

dari pada tegangan masukan (misalnya pada pengiriman/penyaluran daya) dan sebaliknya

trafo berfungsi sebagai *step-down* jika tegangan keluaran lebih rendah daripada tegangan

masukan (misalnya menerima/mengeluarkan daya).

b. Transformator Ukur

Pada umumnya trafo ini di gunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V).

Trafo ini trafo ini dibuat khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak mungkin bisa

diukur langsung oleh *amperemeter* atau *voltmeter*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2019

2019

2019

2019

2019

2019

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.

c. Transformator Elektronik

Transformator ini prinsipnya sama seperti transformator daya, tapi kapasitas daya reaktif sangat kecil, yaitu kurang 300 VA yang digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik.

d. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat penting dalam sistem distribusi yang berfungsi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah sebelum sampai ke beban-beban distribusi. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator penurun tegangan (*step-down*) 20KV/400V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380V.

Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantara garis gaya magnet (flux magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan. Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber lilitan AC pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet yang bolak-balik juga, dengan adanya gaya magnet disekitar kumparan primer akan timbul flux magnet. Adanya flux magnet pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi atau lebih rendah dari gaya listrik primer [19].

2.2.5. Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem dalam proses pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu-gardu induk sampai ke pengguna energi listrik. Klasifikasi jaringan distribusi menurut strukturnya antara lain struktur jaringan radial, struktur jaringan *loop*, dan struktur jaringan *spindle*

Sistem Distribusi suatu bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah [21]:

- a. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat konsumen.
- b. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban konsumen dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Secara umum sistem distribusi dibagi menjadi 4 bagian yaitu [20]:

a. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi merupakan instalasi penghubung antara jaringan transmisi dengan distribusi, disana terdapat transformator daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah.

b. Jaringan Primer

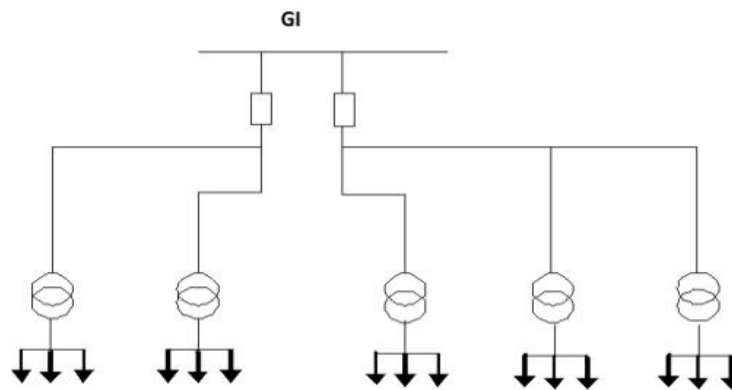
Jaringan primer adalah jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke transformator dengan tegangan yang disalurkan adalah 20 kv.

c. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat dalam sistem distribusi yang berfungsi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah sebelum sampai ke beban-beban distribusi.

d. Jaringan Sekunder.

Jaringan tegangan rendah (jaringan sekunder) adalah jaringan yang menghubungkan transformator distribusi dengan konsumen, besar tegangan yang disalurkan adalah 380/220 V. [18]



Gambar 2. 4 Skema Sistem Jaringan Distribusi [22]

2.2.6 Kabel Jaringan Tegangan Rendah

Kabel merupakan penghantar listrik yang terbungkus bahan isolasi terpisah satu dengan yang lainnya, kemudian bersama-sama terbungkus isolasi utama. Jaringan tegangan rendah (JTR) adalah jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya [23]. JTR berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada JTR tegangan 20/11kV jaringan tegangan menengah diturunkan menggunakan trafo distribusi menjadi 380/220V. Sistem penyaluran listrik JTM

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

atau JTR dibedakan menjadi 2 macam. Pertama saluran udara tegangan rendah (SUTR). Pada jenis ini digunakan kabel telanjang tanpa isolasi seperti AAAC, kabel ACSR. Kedua saluran kabel udara tegangan rendah (SKUTR) [24].

Penghantarnya berupa kabel jenis LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Ukuran LVTC adalah $2 \times 10\text{mm}^2$, $2 \times 16\text{mm}^2$, $4 \times 25\text{mm}^2$, $3 \times 35\text{mm}^2$, $3 \times 50\text{mm}^2$, $3 \times 70\text{mm}^2$. Setiap ukuran berbeda kegunaan, sehingga perlu dilakukan pemilihan sesuai kebutuhan. Dimana ukuran berpengaruh pada rugi daya yang dirubah menjadi panas. Hal ini karena adanya tahanan pada kawat itu sendiri. Besarnya rugi daya adalah sebesar arus dikuadratkan dikalikan dengan hambatan. Penggunaan ukuran kawat yang lebih besar akan mengakibatkan kecilnya rugi rugi karena tahanan juga mengecil. Selanjutnya pemilihan ukuran kawat akan berpengaruh pada kerugian tegangan dan batasan kuat arus. Berbeda jenis dan ukuran kawat akan menyebabkan perbedaan besar hambatan sebuah kabel [24].

2.2.7. Software ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan perangkat lunak untuk simulasi sistem tenaga listrik. *Software* ini dapat bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, untuk pengelolaan data *real-time* secara *online* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat dalam ETAP 12.6.0 bermacam-macam yang dapat digunakan untuk menganalisa pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik [25].

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP 12.6.0 sebagai berikut:

1. Analisa aliran daya (*Load Flow Analysis*)
2. Analisa hubung singkat (*Short Circuit Analysis*)
3. *Ar Flash Analysis*
4. *Unbalanced Load Flow Analysis*
5. *Optimal Power Flow Analysis*, dll.

Dalam menganalisa sistem tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (*single line diagram*) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandarisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran

fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah [3]

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Pada penelitian ini digunakan standar IEC dengan frekuensi 50 Hz. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda [3].

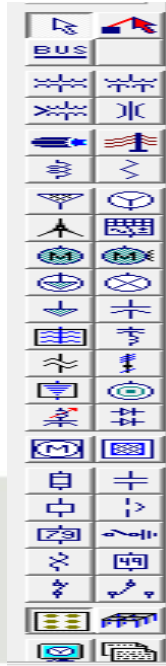
Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP *Power Station* adalah [25]:

1. *One Line Diagram*, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
3. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
4. *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

Komponen elemen AC pada software ETAP dalam bentuk diagram satu garis ditunjukkan pada Gambar, kecuali elemen-elemen IDs, penghubung bus dan status. Semua data elemen AC dimasukkan dalam editor yang telah dipertimbangkan oleh para ahli teknik. Daftar seluruh elemen ac pada *software* ETAP pada *AC toolbar*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

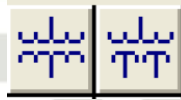
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Gambar 2. 5 Elemen-elemen AC di ETAP [25]

a. Transformator

Transformator 2 kawat sistem distribusi dimasukkan dalam *editor power station software* transformator 2 kawat pada *power station software* ETAP ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 2. 6 Simbol Transformator 2 kawat [25]

b. Load

Beban listrik sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor kV dan MVA yang ditampilkan macam beban, yaitu beban station software ETAP ditunjukkan statis dan dibawah beban ini:



Gambar 2. 7 Simbol Load [25]

c. Pemutus Rangkaian

Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Simbol pemutus rangkaian di ETAP ditunjukkan pada gambar:

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



Gambar 2. 8 Simbol Pemutus Tegangan [25]

d. Bus

Bus AC atau node sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station software ETAP. Editor bus sangat membantu untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik. Generator, motor dan beban statik adalah elemen yang dapat dihubungkan dengan beberapa bus yang diinginkan. Simbol bus pada power station software ETAP ditunjukkan gambar:



Gambar 2. 9 Simbol Bus [25]

2.2.8. Daya Pada Saluran Distribusi

Daya (P) disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut [18] :

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \Phi \tag{2.6}$$

Dimana :

P = daya pada ujung

V = tegangan pada ujung

cos Φ = faktor daya

Daya yang sampai pada ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

[IR] = a [Irata-rata]

[IS] = b [Irata-rata]

[IT] = c [Irata-rata]

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

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai [18] :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \Phi \quad (2.7)$$

Jika Persamaan $P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \Phi$ dan persamaan $P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \Phi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu [18] :

$$a + b + c = 3 \quad (2.8)$$

2.2.9. Beban Penuh Transformator

Pembebanan transformator distribusi yang melebihi standar pembebanan trafo sebesar 80% akan membuat tidak handalnya transformator bekerja. Oleh sebab itu dibutuhkan analisa persen pembebanan transformator distribusi dengan melakukan perhitungan sebagai berikut: [15]

Bila ditinjau dari tegangan tinggi, daya transformator dapat dituliskan sebagai berikut [15]:

$$S = \sqrt{3} V \cdot I \quad (2.9)$$

Dimana:

S = daya tarfo (kVA)

V = tegangan sisi primer (kV)

I = arus jala-jala (A)

Jadi untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [15]:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.10)$$

Dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

Arus rata-rata dapat dihitung dengan rumus [14]:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2.11)$$

Prosentase pembebanan transformator adalah [14] :

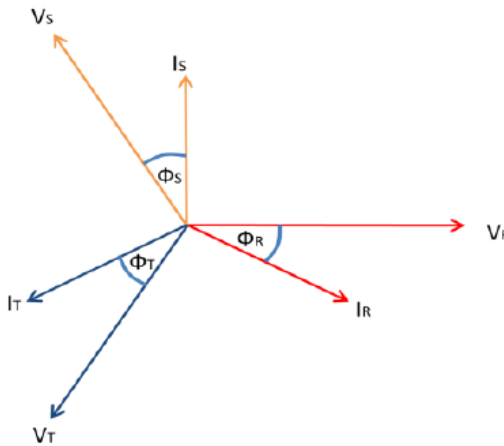
$$\% = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2.2.10. Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana [15] :

- a. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- b. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2. 10 Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Seimbang [8]

Dimana:

I_R = Arus pada fasa R (ampere)

I_S = Arus pada fasa S (ampere)

I_T = Arus pada fasa T (ampere)

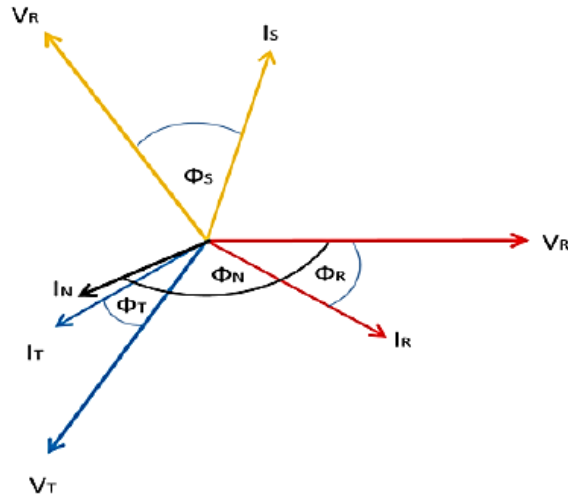
Bentuk diagram dari tegangan dan arus dari sistem tiga fasa yang dihubungkan dengan beban seimbang. Hal ini dapat kita perhatikan dari bentuk diagram fasor masing-masing fasa yang dipisahkan oleh sudut rugi-rugi atau $\cos \Phi$ dari penggunaan beban masing-masing jalur fasa. Disini terlihat bahwa, ketika penjumlahan ketiga Phasor arusnya ($I_R I_S I_T$) dengan nilai arus netral bernilai 0 [8].

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu [15]:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. 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. 11 Vektor Diagram Arus yang Tidak Seimbang [8]

Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Untuk mencari nilai ketidakseimbangan beban dapat dicari dengan menggunakan koefisien a, b, dan c. Dimana koefisien a, b, dan c memerlukan arus setiap fasa dan arus rata-rata. Maka diperoleh persamaan untuk koefisien a, b dan c sebagai berikut [15]:

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} \quad (2.13)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-rata}}} \quad (2.14)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{Rata-rata}}} \quad (2.15)$$

Dimana:

I_R = Arus pada fasa R (Ampere)

I_S = Arus pada fasa S (Ampere)

I_T = Arus pada fasa T (Ampere)

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut [14]:

$$\frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (2.16)$$

Beban tidak seimbang ialah beban pada masing-masing fasa tidak sama besarnya. Oleh karena itu arus yang akan mengalir pada setiap fasanya juga akan berbeda tergantung seberapa besar beban yang ditanggung oleh fasa tersebut. Perbedaan besar arus pada setiap fasanya akan mengakibatkan mengalirnya arus pada penghantar netral [2].

Karena pada beban tidak seimbang akan muncul arus netral maka persamaan untuk vektor diatas adalah : $I_N = I_R + I_S + I_T \neq 0$

Penyebab dari ketidakseimbangan beban ini diantaranya adalah sebagai berikut [8]

a. Pasang baru pada bagian kabel yang mudah untuk penyambungan.

Banyaknya pemasangan pelanggan baru oleh biro pada bagian kabel yang mudah untuk dipasangi *pierching connector* tanpa memperhatikan fasa yang terpasang pada saat itu. Hal ini terjadi sebagian besar pada jaringan SKUTR yang memakai kabel LVTC. Hal ini diakibatkan karena saat pemasangan *pierching connector* pada LVTC tersebut, pemasangan harus melonggarkan kabel tersebut dari pilinannya.

b. Banyaknya pelanggan pada suatu sambungan deret.

Tidak semua pelanggan listrik memiliki rumah tinggal dekat jaringan, untuk mengatasinya maka dibuat suatu SR deret. Peraturannya suatu SR deret dibatasi maksimal 5 pelanggan tiap fasanya, namun pada pelaksanaannya banyak SR deret yang memiliki pelanggan lebih dari 5 pelanggan dalam satu fasa. Hal ini diakibatkan adanya penambahan pelanggan yang tidak selalu terjadi pada pelanggan yang dekat jaringan JTR saja, melainkan ada juga yang agak jauh dari jaringan, sehingga oleh pemasang diambilkan dari jaringan SR yang terdekat. Pemasangan tersebut tidak memperhatikan SR deret yang telah tersambung pada satu fasa tersebut. Sehingga menyebabkan beban pincang pada trafo karena fasa tersebut terlalu banyak menanggung beban.

Selain mengakibatkan beban pincang banyaknya pelanggan pada suatu SR deret akan mengakibatkan tegangan ujung pada SR deret tersebut drop (jauh dari tegangan normal).

c. Kurangnya pengawasan di lapangan.

Dalam pelaksanaan pemasangan sambungan baru, pada umumnya pengawas lapangan langsung percaya kepada pelaksana bahwa apa yang dikerjakan sesuai dengan perintahnya. Untuk itu perlu dicek ulang dengan cara melakukan pengukuran kembali, kemudian membandingkannya dengan hasil pengukuran sebelum pelaksanaan pemasangan. Dari data tersebut dapat diketahui adanya penambahan beban pada fasa terdapat sambungan baru.

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

2.2.11. Arus Netral

Arus netral merupakan arus yang mengalir dikawat netral pada transformator distribusi dengan sistem tegangan rendah tiga fasa empat kawat. Arus netral akan muncul ketika terjadi dua keadaan sebagai berikut [7]:

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

Dimana arus netral dapat diperhitungkan dengan rumus berikut [8] :

$$I_N = \sqrt{(IR^2) + (IS^2) + (IT^2) - (IR \times IS) - (IR - IT)(IS \times IT)} \quad (2.17)$$

2.2.12. Rugi Pada Arus Netral

Akibat dari ketidakseimbangan beban yang terjadi diantara setiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di saluran netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut [14] :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (2.18)$$

Dimana :

P_N = *Losses* pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = Arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N = Tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Prosentase rugi – rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator adalah [14] :

$$\% P_N = \dots \times 100 \% \quad (2.19)$$

Panjang dan kawat penghantar yang dipakai jaringan tegangan rendah harus diperhitungkan karena dapat mempengaruhi besar rugi-rugi daya akibat beban tak seimbang. Semakin besar arus yang mengalir pada penghantar netral, maka akan semakin besar pula rugi-rugi daya beban tak seimbang yang ditimbulkan, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu selalu diusahakan suatu pembagian beban pada tiap-tiap fasa transformator agar dapat seimbang ini terus dibiarkan pada periode waktu yang lama, dapat menyebabkan cepat rusaknya sisi kumparan transformator yang berbeban paling berat (tinggi) dan juga kemungkinan putusya pada fasa [2].

2.2.13. Penyeimbangan Beban

Losses atau rugi-rugi adalah susut energi yang terjadi selama pendistribusian tenaga listrik mulai dari pembangkitan sampai dengan APP pelanggan. Penekanan susut ini menjadi kinerja utama di PLN sebagai perusahaan utama penyedia tenaga listrik dalam upaya peningkatan efisiensi dan performa pelayanan. Susut terdiri atas susut teknik dan susut non teknik. Pada sistem distribusi susut non teknik dapat bersumber dari adanya pencurian listrik, kesalahan baca meter, kurang tertibnya penggantian kWh meter berkala dan lain lain. Pada umumnya susut non teknik ini merupakan faktor eksternal sistem. Sedangkan susut teknik bersumber dari faktor internal sistem yakni besar dan jenis beban serta panjang, luas penampang, dan jenis penghantar yang digunakan. Hal tersebut dapat dilihat dari persamaan umum untuk susut energi yakni $P = I^2R$.

Banyak hal yang dapat dilakukan untuk menekan susut teknik pada sistem distribusi yang pada prinsipnya dengan cara mengurangi beban (I) dan mengurangi nilai tahanan (R). Contoh pengurangan beban antara lain dengan pemasangan trafo sisipan, membangun feeder baru dan penyeimbangan beban trafo distribusi. Sedangkan pengurangan nilai tahanan antara lain dengan Uprating JTM, Uprating JTR, Penggantian konektor, dan lain lain.

Penyeimbangan beban trafo distribusi adalah salah satu upaya penekanan susut yang cukup penting dan strategis karena upaya ini disamping tidak membutuhkan biaya yang tinggi juga sifatnya harus berkelanjutan. Untuk itu dibutuhkan metode yang efektif, komprehensif dan kontinuitif.

Dalam proses penyeimbangan beban, ada beberapa perbedaan poin perbedaan antara penyeimbangan berdasarkan simulasi beban hasil pengukuran dengan penyesuaian penyeimbangan beban berdasarkan kondisi lapangan, diantaranya [26]:

1. Penyeimbangan berdasarkan data hasil pengukuran beban dengan metode pemerataan nilai arus di tiap fasanya hingga mencapai nilai rata-rata bukan merupakan patokan mutlak dijadikan ketetapan penyeimbangan di lapangan, melainkan menjadi sebuah acuan seberapa besar nilai beban yang akan dialihkan maupun diambil di masing-masing fasa yang membutuhkan. Karena bila mutlak berpatokan terhadap nilai pengalihan beban berdasarkan simulasi, akan sangat sulit untuk memperoleh nilai tersebut disebabkan nilai penggunaan beban di masing - masing pelanggan berbeda - beda naik dan turun.

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

- Melainkan harus berdasarkan kebiasaan rentan penggunaan beban di tiap fasa di masing-masing jurusan Gardu (*fedder*) [26].
- Ada juga dimana kondisi penyeimbangan hanya dilakukan melalui pemindahan beban yang penuh ke beban yang masih kosong di jurusan gardu karena memang keseimbangan lebih dibutuhkan untuk keseimbangan beban fasa induk trafonya saja [26].

2.2.14. Pemeliharaan Transformator

Kegagalan transformator bekerja biasanya diakibatkan oleh kegagalan sistem isolasinya, sebagai akibat dari kegagalan sistem isolasi tersebut menyebabkan banyaknya efek panas yang terjadi dalam trafo. Ketahanan sistem isolasi pada peralatan listrik sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kekuatan listrik dan mekanik, getaran, proses kimia, dll. Suhu dalam peralatan listrik sering sekali mempengaruhi material isolasi oleh karena itu suhu kumparan maupaun suhu minyak tidak boleh melampaui nilai suhu standar yang telah dibuat, sehingga isolasi trafo tidak mudah rusak. Oleh karena itu dalam memilih trafo perlu untuk diketahui atau dipilih kelas isolasi yang sesuai dengan standar yang berlaku.

Tabel 2. 1 Kelas isolasi dan suhu tertinggi [9]

Kelas	Suhu kerja maksimum
Y	90°C
A	105°C
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C
C	Diatas 180°C

Pada dasarnya tujuan dari pemeliharaan trafo adalah untuk menjaga operasi, meningkatkan keandalan, nilai ekonomis dan efisiensi trafo. Untuk itu, maka transformator harus memenuhi persyaratan teknis agar dapat memudahkan operator dan teknisi untuk kegiatan operasi ataupun pada saat perbaikan dan pemeliharaan dilaksana-kan. Adapun pemeliharaan transformator bertujuan :

- Menjaga agar transformator dapat selalu berfungsi dengan baik.
- Mempertahankan kondisi dan umur trafo selama mungkin.

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

© Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Saif Kasim Riau

3. Menghindari terjadinya gangguan dan mengatasi gangguan sesingkat mungkin.

2.2.15. Pengaman Pada Transformator

Pengaruh rugi-rugi yang terjadi akibat pembebanan pada transformator akan menimbulkan panas, ketika panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebih maka dapat merusak isolasi lilitan. Untuk mengurangi panas tersebut, maka transformator perlu dilengkapi dengan alat pendingin untuk menyalurkan panas keluar dari transformator [6].

Tabel 2. 2 Batas Kenaikan Suhu Jenis Terendam Minyak [10]

Bagian	Batas Kenaikan Suhu (K)
Minyak bagian atas (Kenaikan diukur dengan termometer)	60
Kelas suhu isolasi A (kenaikan belitan dengan metode resistansi)	65
<i>Hot Spot</i> belitan	78

Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa udara, minyak dan air, sedangkan untuk sirkulasinya dapat dengan cara alamiah (*natural*) dan paksaan (*forced*). Pada cara alamiah dipakai sirip-sirip radiator tangki atau tangki bergelombang untuk memperluas bidang perpindahan panas minyak. Alat pompa digunakan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin sebagai perpindahan panas dari media pendingin ke udara luar lebih cepat berlangsung.

2.2.16. Trendline Microsoft Excel

Trendline merupakan garis yang dibuat melalui perhitungan secara statistik menggunakan *Microsoft excel* untuk menambahkan sebuah garis kecenderungan atau *trendline* dalam grafik [4].

Pada penelitian ini suhu berbanding lurus dengan ketidakseimbangan yang terjadi, maka *trendline* digunakan untuk melihat kemungkinan suhu setelahnya dengan menggunakan data suhu dan ketidakseimbangan sebelum diseimbangkan. Membuat *Trendline* menggunakan *software Ms. Exel 2016* berdasarkan data pembebanan dan suhu sebelum dilakukan penyeimbangan beban. [4]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2.2.17. Isolasi Transformator

Isolasi adalah suatu sifat bahan yang mampu untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan baik secara elektrik dan juga untuk memperkecil arus bocor yang diakibatkan oleh korosif atau tekanan-tekanan yang terjadi baik pada saat pengoperasian, transportasi ke tempat pemasangan maupun pada saat pengujiannya.

2.2.18. Tipe Pendingin Transformator

Ada beberapa tipe pendingin pada transformator yaitu: [16]

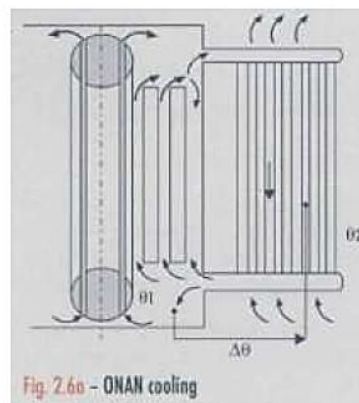
a. Tipe Kering

1. AA : Pendingin udara natural
2. AFA : Pendinginan udara terpompa

b. Tipe Basah

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah. Sirkulasi minyak yang terjadi disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas.



Gambar 2. 12 Pendingin Tipe ONAN [16]

2. ONAF (*Oil Natural Air Force*)

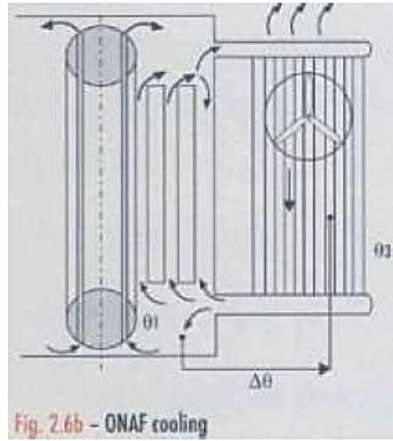
Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan sirkulasi udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik.

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 mengumpukan 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.



Gambar 2. 13 Pendingin ONAF [16]

Pada umumnya operasi trafo dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya sebagian kipas angin yang berputar. Apabila suhu trafo sudah semakin meningkat, maka kipas angin yang lainnya akan berputar secara bertahap.

3. OFAF (Oil Force Air Force)

Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin. Khusus jenis trafo tenaga tipe basah, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan bersifat pula sebagai isolasi (tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a) Kekuatan isolasi harus tinggi (lebih dari 10 kV/mm).
- b) Dapat menyalurkan panas dengan baik, berat jenis kecil sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- c) Viskositas yang rendah, agar lebih mudah bersirkulasi dan memiliki kemampuan pendingin yang lebih baik.
- d) Titik nyala yang tinggi (Min 140°C), untuk mencegah terlalu banyak hilangnya minyak menjadi gas yang dapat menimbulkan bahaya kebakaran.
- e) Tidak bereaksi terhadap material lain sehingga tidak merusak material isolasi padat.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2.2.19. Umur Transformator

Setiap peralatan yang beroperasi pasti mempunyai batasan umur dalam bekerja serta kurang handalnya beroperasi akibat laju penuaannya. Demikian halnya pada salah satu bagian alat tenaga listrik yaitu transformator daya. Pembebanan pada transformator daya menyebabkan terjadinya pemanasan yang akan mempengaruhi pada transformator dan kemampuannya dalam melayani beban selanjutnya atau dapat menyebabkan kemungkinan terjadinya kegagalan atau kerusakan. Proses ini biasanya disebut penuaan, hal ini akan menentukan umur dari trafo tenaga. Umur *thermal* harapan suatu trafo tenaga didefinisikan sebagai umur yang diharapkan dari suatu trafo tenaga untuk mengatasi adanya pemanasan akibat pembebanan, sampai terjadinya kegagalan dari trafo dalam menjalankan fungsinya [6].

Untuk memperkirakan umur trafo tenaga dapat dilakukan dengan meng-evaluasi Besar temperatur *Hotspot*nya, laju penuaan termalnya akibat pemburukan isolasi besar susut umur trafo, dan sampai kepada berapa umur trafo. Dalam mengujinya pada kondisi tertentu dan diamati sifat fisisnya seperti kekuatan tarikan, tegangan tembus dan lain-lain. Titik akhir umur didapatkan dengan menentukan batas dari besaran fisisnya yang menyatakan bahan itu rusak. Misalnya, sisa kekuatan tarikan tinggal 20% dinyatakan sebagai batas umur [6].

Untuk mengetahui umur transformator hal yang mempengaruhi sebagai berikut :

2.2.16.1. Suhu Titik Panas

Suhu yang tinggi pada belitan dapat menimbulkan degradasi pada selulosa yang terkandung dalam kertas isolasi dan menurunkan kemampuan isolasi minyak [7]. Suhu *hot-spot* (titik panas) dipengaruhi oleh besar beban dan suhu lingkungan [9].

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan, suhu rata-rata tahunan di Indonesia adalah 30 °C dan tingkat suhu rata-rata harian 33 °C dimana transformator distribusi dioperasikan [10]. Suhu lingkungan merupakan variabel dinamis yang mempengaruhi suhu *hot-spot* secara linear.

Untuk menentukan gradien titik panas yang terjadi sebagai berikut :

$$H_{gr} = H (\Delta\theta_{wr} + \Delta\theta_{imr}) \tag{2.20}$$

Dimana :

H_{gr} : gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal

H : faktor titik panas

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

$\Delta\theta_{wr}$: kenaikan suhu belitan rata-rata
 $\Delta\theta_{ir}$: kenaikan suhu minyak rata-rata

Setelah didapat nilai gradien titik panas maka akan didapatkan kenaikan suhu titik panas dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{ir} \left(\frac{1+R.K_2}{1+R} \right)^X + H_{gr} \cdot K^y \quad (2.21)$$

Dimana :

$\Delta\theta_h$: kenaikan suhu titik panas belitan

$\Delta\theta_{ir}$: kenaikan suhu minyak atas

R: rasio rugi-rugi

K: konstanta

H: faktor titik panas

H_{gr} : gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenalan.

Setelah didapat nilai kenaikan suhu titik panas maka akan didapat nilai suhu titik panas yang akan dihitung dengan suhu lingkungan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_h \quad (2.22)$$

Dimana :

θ_h = suhu titik panas

θ_a = suhu sekitar

$\Delta\theta_h$ = kenaikan suhu titik panas belitan

Suhu sekitar standard IEC 20°C, standard IEEE 30°C dan suhu rata-rata tahunan di Indonesia adalah 30 °C dan tingkat suhu rata-rata harian 33 °C dimana transformator distribusi dioperasikan [5].

2.2.1.1. Susut Umur (Laju Penuaan Termal Relatif)

Susut umur yang disebabkan oleh operasi harian atau bulanan pada suhu panas setempat 98 °C dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam. Jika beban dan suhu sekitar konstan selama satu periode maka susut umur/penuaan relatif [6]. Yang mempengaruhi pemburukan isolasi ialah waktu terhadap suhu, kandungan air, oksigen dan asam [6]. Sedangkan untuk model yang ditampilkan pada standar ini hanya berdasarkan pada

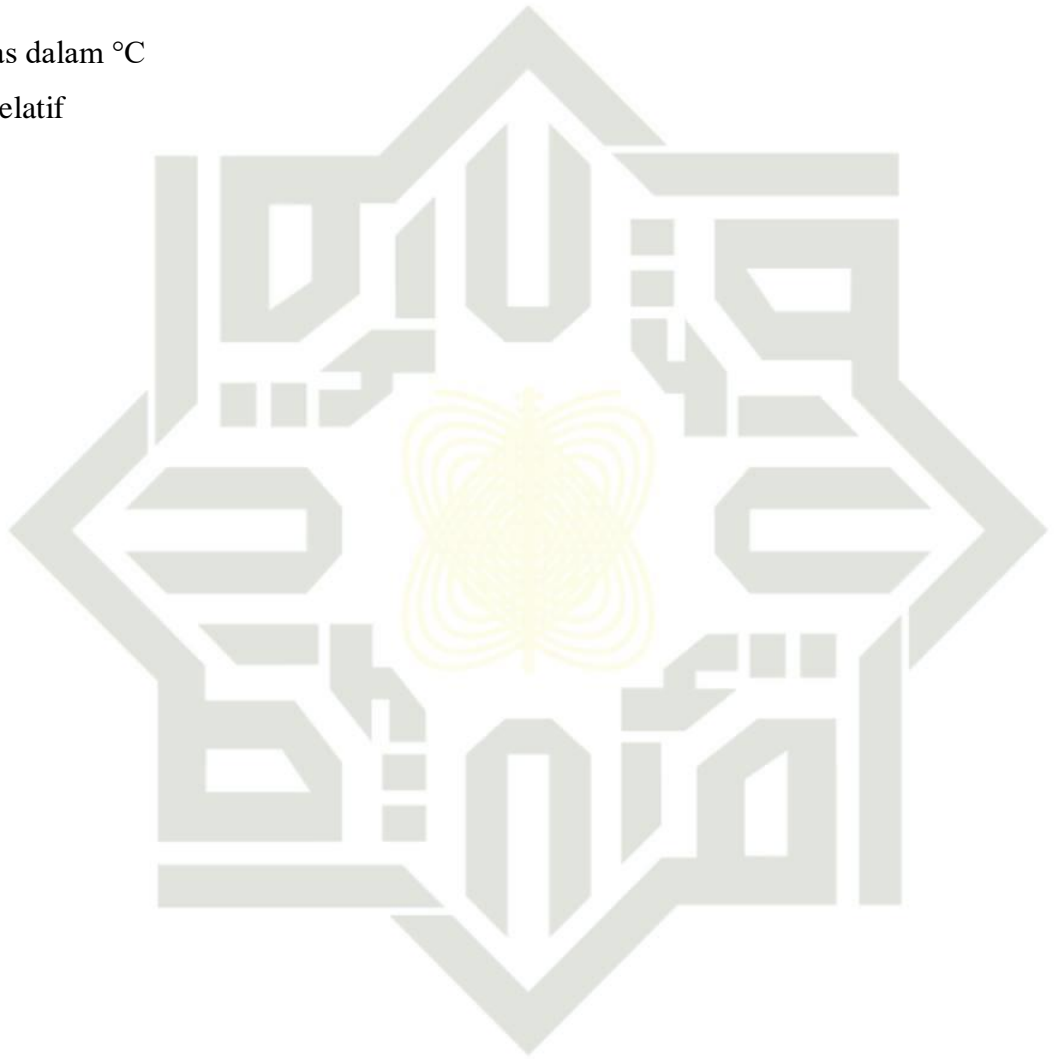
suhu sebagai parameter. Karena distribusi suhu tidak seragam, bagian yang beroperasi pada suhu tertinggi biasanya akan mengalami pemburukan paling besar sehingga laju penuaan berdasarkan pada suhu titik panas belitan. Laju penuaan relatif didefinisikan:

$$V = \frac{\theta h - 98^\circ}{6} \quad (2.23)$$

Dimana :

θh = suhu titik panas dalam °C

V = nilai penuaan relatif



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.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3. 1. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif, yaitu penelitian yang spesifikasinya secara matematis, terstruktur dengan jelas dan tepat dengan mendeskripsikan atau memberikan gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul dari hasil penelitian dilapangan.

3. 2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Garuda Sakti di Jl. Riau Air Hitam, Payung Sekaki, Kota Pekanbaru, Riau 28291. Gardu Induk Garuda Sakti memiliki

3. 3. Sumber Data

Sumber data yang didapat yaitu jenis data sekunder ialah data yang diperoleh peneliti dari sumber yang sudah ada, seperti data pembebanan, data suhu, data spesifikasi transformator yang didapatkan secara langsung dalam buku laporan bulan februari Gardu Induk Garuda Sakti.

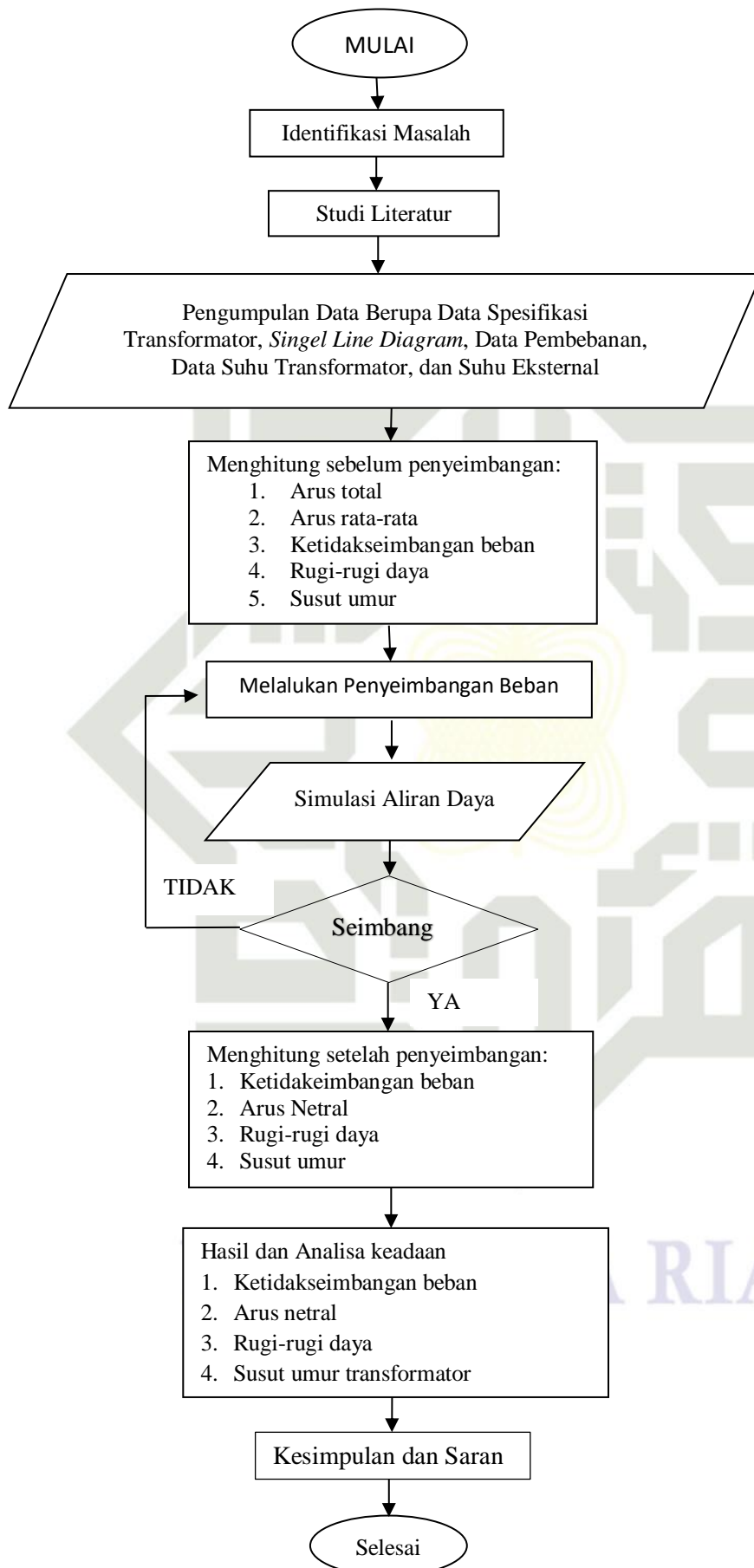
3. 4. Tahapan penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses studi literature *literatur review* untuk menemukan suatu masalah yang diangkat selanjutnya mengidentifikasi masalah, menentukan masalah, dan meninjau penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Kemudian melakukan observasi terkait objek penelitian, dalam proses observasi peneliti melakukan pengumpulan data sekunder yang diperlukan dalam penelitian. Adapun diagram alur pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

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.



3.4.1. Identifikasi Masalah

Pada identifikasi masalah ini terdiri dari rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian yang dijelaskan pada bab I pendahuluan

3.4.2. Studi Literatur

Untuk studi literatur yang digunakan penelitian ini referensi dari penelitian sebelumnya, buku-buku terkait, tinjauan pustaka terkait dan jurnal-jurnal terkait atau penunjang yang berhubungan serta teori yang mendukung dalam penyelesaian penelitian “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Dan Suhu Eksternal Terhadap Susut Umur Transformator”

3.4.3. Pengumpulan Data Sekunder

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder milik PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Garuda Sakti, serta data dari referensi buku dan jurnal. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah spesifikasi transformator distribusi unit 1, *single line diagram*, penyulang 20 kV serta beban penyulang, Suhu minyak dan pada transformator, dan karakteristik pendingin jenis isolasi. Rincian data yang diambil adalah sebagai berikut:

a. Spesifikasi Transformator Distribusi

Gardu induk Garuda Sakti memiliki empat transformator daya masing-masing berdaya 60 MVA. Untuk transformator unit 1 merk transformator Unindo memiliki impedansi 12.55 %, mengalirkan daya kepada 7 penyulang yaitu dengan nama louhan, bandeng, bawal, dan kakap dengan transformator distribusi masing-masing berkapasitas 200 kVA serta mujair, kerapu, dan selais dengan transformator distribusi berkapasitas masing-masing 250 kVA. Transformator distribusi tersebut memiliki tegangan primer 20 KV dan tegangan sekunder 0,4 KV.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Transformator

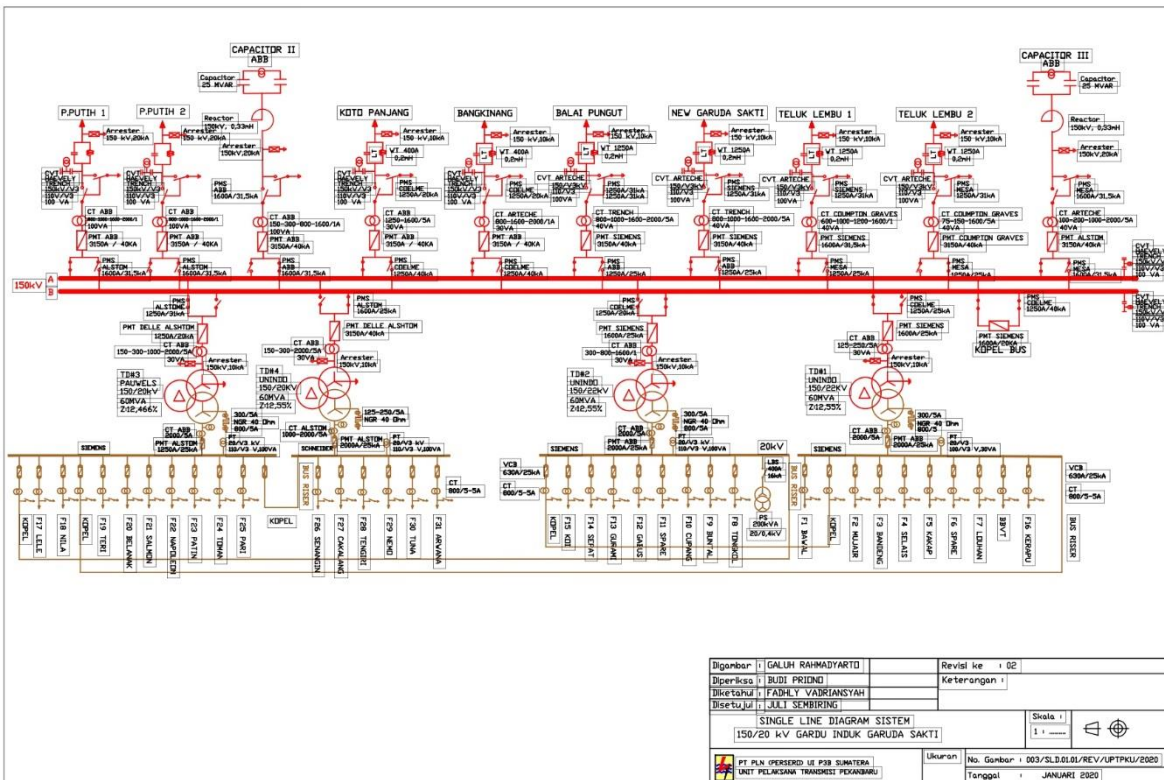
Nama Data	Data
Impedansi Tegangan	12.55 %
Tegangan HV	20 kV
Tegangan LV	0,4 kV
Kabel optik Masuk	BC 3x150 mm ²
Tahanan	2,0526 Ω/Km

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

Kabel optik keluar	BC 4x70 mm ²
Tahanan	0, 5049 Ω/Km
Cos φ	0,85

b. *Single Line Diagram*

Dalam tahap pemodelan dengan simulasi *software* ETAP 12.6.0 maka perlu panduan jaringan berupa *Single Line Diagram* jaringan Gardu Induk Garuda sakti, berikut adalah *Single line diagram* jaringan distribusi transformator 1 dengan 8 penyulangnya :



Gambar 3. 1 *Single Line Diagram* Transformator 1 GI Garuda Sakti [11]

Single line diagram (SLD) adalah data yang menggambarkan secara keseluruhan dari konfigurasi jaringan di GI Garuda Sakti. Data ini diperlukan sebagai acuan dalam membuat konfigurasi jaringan pada program ETAP 12.6.0.

Gardu Induk Garuda Sakti memiliki 4 unit transformator daya dengan masing-masing berkapasitas 60 MVA. Pada penelitian ini meneliti transformator unit 1 dengan transformator distribusi pada setiap penyulang. Transformator distribusi pada jaringan berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi 150 kV ke level tegangan distribusi 20 kV. Terlihat pada transformator distribusi unit 1 memiliki 7 penyulang 20kV, masing-masing

berkapasitas 200 kVA, serta mujair, kerapu, dan selais dengan transformator distribusi berkapasitas masing-masing 250 kVA.

c. Data Beban Penyulang

Transformator unit 1 memiliki 8 penyulang dengan kapasitas transformator distribusi 200 kVA setiap penyulangnya. berikut merupakan data pembebanan pada *fedder* Gardu Induk Garuda Sakti pada bulan february 2020, berikut data yang diperoleh :

Tabel 3. 1 Data Pembebanan dan Transformator 1

Transformator 1	Beban (A)			
	R	S	T	N
F 1 Bawal	172	222	184	77
F 2 Mujair	274	229	270	172
F 3 Bandeng	169	216	225	122
F 4 Selais	194	258	273	123
F 5 Kakap	261	219	222	85
F 6 Spare				
F 7 Louhan	230	173	167	109
F 16 Kerapu	194	288	268	98

d. Data Suhu Transformator

Data suhu transformator yang digunakan dalam penelitian ini adalah data minyak sebagai suhu isolasi pada transformator, suhu belitan sebagai suhu pada transformator itu sendiri bekerja dan suhu lingkungan dengan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) memiliki suhu rata-rata siang hari 32 °C dan malam hari 23°C. Berikut suhu 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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 3. 2 Data Suhu Transformator 1

Transformator 1	Suhu (°C)	
	Minyak	Belitan
F 1 Bawal	44	64
F 2 Mujair	40	54
F 3 Bandeng	33	58
F 4 Selais	34	54
F 5 Kakap	31	54
F 6 Spare		
F 7 Louhan	40	58
F 16 Kerapu	42	63
Rata-rata	37,7	57,8

e. Karakteristik Jenis Isolasi

Dalam mengidentifikasi suhu transformator yang berkaitan dengan susut umur transformator perlu diketahui jenis isolasi yang digunakan transformator, untuk transformator 1 Gardu Induk Garuda Sakti ini menggunakan jenis isolasi ONAN, dengan karakteristik jenis isolasi ini sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Karakteristik Termal Jenis Pendingin ONAN

Karakteristik Termal Transformator	Nilai
Eksponen Minyak (x)	0,8
Eksponen Belitan (y)	1,6
Rasio Rugi-rugi (R)	5
Faktor Titik Panas (H)	1,1
Konstanta Waktu Minyak (tO)	180
Konstanta Waktu Belitan (tw)	4
Suhu Sekitar (OC)	20
Suhu Titik Panas (OC)	98
Gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal (Hgr)	23
Kenaikan suhu minyak rata-rat	44
Kenaikan suhu minyak atas	55

Kenaikan suhu minyak bawah	33
Kenaikan suhu belitan rata-rata	65
k11	1,0
k21	1,0
k22	2,0

3.4.4. Menghitung Sebelum Penyeimbangan

Sebelum melakukan penyeimbangan beban, peneliti mengidentifikasi nilai ketidakseimbangan beban pada transformator, dengan tahap berikut :

a. Menghitung arus total pada transformator

Untuk mengetahui besar arus total pada transformator dapat digunakan persamaan (2.9) dan (2.10)

b. Menghitung pembebanan

Dengan mencari arus rata-rata setiap penyulang (2.11) dapat dicari persen pembebanannya dengan membagi arus rata-rata terhadap arus saat berbeban menggunakan rumus (2.10).

c. Menghitung ketidakseimbangan beban

Untuk mengetahui nilai ketidakseimbangan pada transformator terlebih dahulu menghitung nilai setiap fasa dengan (2.13), (2.14), dan (2,15) dan untuk persen pembebanan (2,16).

d. Menghitung rugi-rugi daya

Untuk menghitung rugi-rugi (*losses*) yang terjadi akibat ketidakseimbangan digunakan persamaan (2.18), dan (2.19).

e. Menghitung suhu titik panas (*hotspot*)

Suhu sekitar sangat berpengaruh untuk menentukan nilai dari *hotspot*. Penulis mengasumsikan suhu sekitar standard IEC 20°C, standard IEEE 30°C dan suhu sebenarnya di indonesia memiliki suhu rata-rata siang hari 32 °C dan malam hari 23°C. Dengan menggunakan persamaan (2.20), (2.21), dan (2.22).

f. Menghitung susut umur transformator

Susut umur yang disebabkan oleh operasi harian atau bulanan pada suhu panas setempat 98 °C dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam. (2.23) Jika beban dan suhu sekitar kontinu selama satu periode maka laju/susut umur relatif, dinyatakan dengan persamaan (2.24).

3.4.5. Melakukan Penyeimbangan

Proses penyeimbangan beban dilakukan dengan tahap berikut :

a. Analisis wilayah penyulang

Sebelum dilakukan penyeimbangan peneliti mengidentifikasi keadaan beban dilapangan sebelum pemindahan fasa pada beban ke fasa yang lain (R/S/T). Selain itu, dilakukan perhitungan besar nilai fasa (beban) yang akan dipindahkan ke fasa lain, dan dengan mengidentifikasi wilayah peneliti juga bisa mengetahui parameter suhu lingkungan dimana transformator distribusi digunakan.

b. Input Data

Dalam penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan software ETAP 12.6.0. Maka, untuk menjalankan simulasi terlebih dahulu membuat *single line diagram* kemudian memasukkan data-data kedalam parameter yang digunakan dalam simulasi ETAP 12.6.0 seperti data-data yang dibutuhkan pada bab 2 sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Data Komponen ETAP 12.6.0

1. Power Grid	
ID U1	GRID 150 KV
Nominal kV	150 kV
Koneksi dan Mode	3 Phase
Short Circuit Rating	3 phase 14000 MVA _{sc} , 1phase 13999 MVA _{sc}
2. Transformator	
ID	TD#1 UNINDO
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Impedansi	12.5%
X/R	45
Tipe	liquid-fill, mineral oil, other, 65
3. Bus	
% V	100 kV
Nominal kV	20 kV
4. Lump Load	
Tipe model	Unbalanced

Rating	Tabel 4.2
% PF	85 %
Tipe Beban	50% motor dan 50% statis
5. Penghantar/Kabel	
Panjang Kabel	Sesuaikan
Jenis Kabel	ICEA 50Hz, Rubber 5,0 kV, 133% 3/C
Luas Penampang Kabel	400, 240, atau 150

c. Penyeimbangan Beban

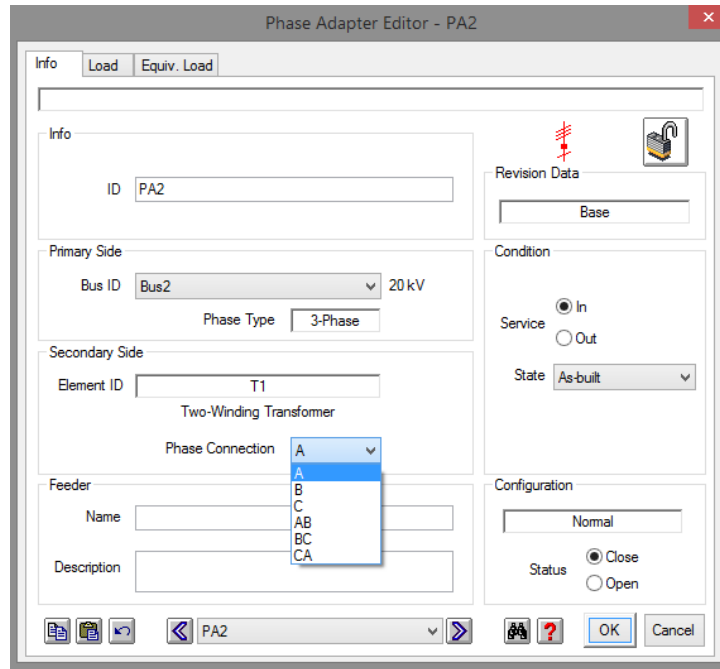
Berdasarkan dasar proses penyeimbangan yang sudah peneliti tuliskan di Bab 2, metode pemerataan nilai arus ditiap fasanya hingga mencapai nilai rata-rata bukan merupakan patokan mutlak dijadikan ketetapan penyeimbangan di lapangan, melainkan menjadi sebuah acuan seberapa besar nilai beban yang akan dialihkan maupun diambil di masing-masing fasa yang membutuhkan. Karena bila mutlak berpatokan terhadap nilai pengalihan beban berdasarkan perhitungan/simulasi, akan sangat sulit untuk memperoleh nilai tersebut disebabkan nilai penggunaan beban di masing - masing pelanggan berbeda-beda naik dan turun. Oleh karena itu proses pemerataan ini peneliti berpatokan kepada arus netral yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban.

Langkah-langkah dalam melakukan penyeimbangan sebelum dilakukan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi arus rata-rata setiap fasa dengan persamaan (2.11) sebagai standar nilai arus pada fasanya, serta mengidentifikasi nilai arus yang akan pindahkan ke fasa lain.
2. Memindahkan hubungan fasa transformator dari fasa satu ke fasa yang lain tanpa merubah merubah nilai beban yang dipikul transformator tersebut.
3. Proses memindahkan hubungan fasa yaitu dengan menggunakan *tools phasa adabter* dengan merubah *phasa connection*.

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



Gambar 3. 2 Merubah Fasa Pada Software ETAP 12.6.0

3.4.6. Simulasi Aliran

Setelah didapatkan pemodelan dari *single line diagram* dan dilakukan pemindahan fasa menggunakan *tools phasa adabter* maka dijalankan simulasi menggunakan *software ETAP 12.6*. ETAP 12.6 merupakan alat untuk mensimulasikan suatu sistem tenaga listrik bertujuan untuk desain, menguji, memantau dan lain-lain pada aliran daya tenaga listrik.

Berdasarkan teori pada bab 2 pada halaman 20 beberapa perbedaan poin antara penyeimbangan berdasarkan simulasi beban hasil pengukuran dengan penyesuaian penyeimbangan beban berdasarkan kondisi lapangan dijelaskan bahwa penyeimbangan berdasarkan data hasil pengukuran beban menjadi sebuah acuan seberapa besar nilai beban yang akan dialihkan maupun diambil di masing–masing fasa yang membutuhkan. Maka, simulasi dikatakan berhasil apabila nilai arus setiap penyulang sudah mendekati nilai arus rata-rata setiap penyulangnya dan arus netral tidak terjadi lagi.

3.4.7. Menghitung Setelah Penyeimbangan

a. Menghitung ketidakseimbangan beban

untuk mengetahui nilai ketidakseimbangan pada transformator terlebih dahulu menghitung nilai setiap fasa dengan (2.13), (2.14), dan (2,15) dan untuk persen pembebanan (2,16)

b. Menghitung arus netral

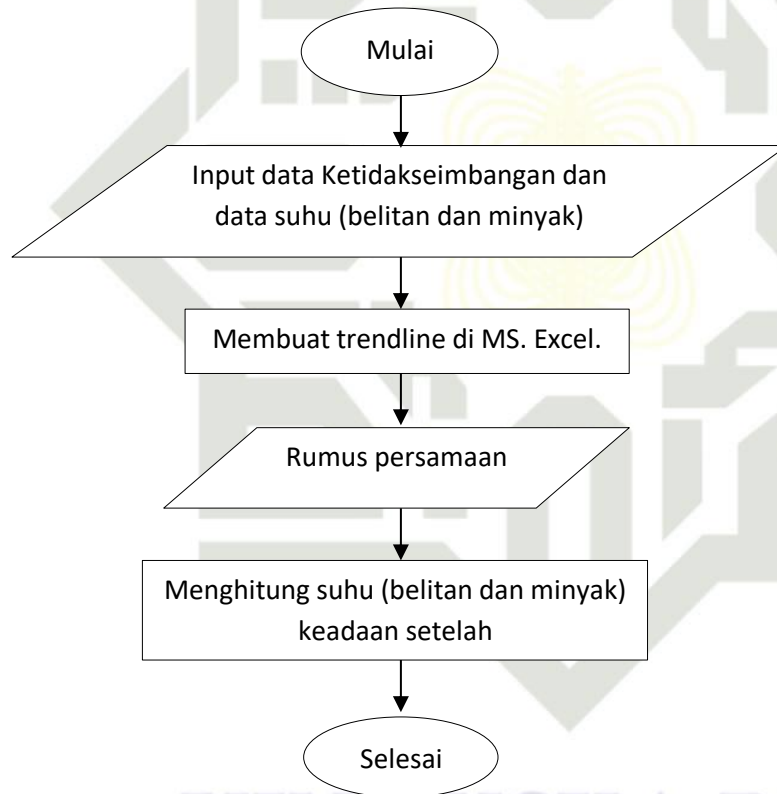
Arus netral merupakan potesndi rugi-rugi daya terjadi, untuk mengetahui arus netral yang terjadi setelah dilakukan penyeimbangan dengan persamaan (2.17)

c. Menghitung rugi-rugi daya

Untuk menghitung rugi-rugi (*losses*) yang terjadi akibat ketidakseimbangan digunakan persamaan (2.18), dan (2.19).

d. Menghitung suhu

Pada tahapan ini suhu berbanding lurus dengan ketidakseimbangan yang terjadi, maka digunakan *trendline* untuk melihat kemungkinan suhu setelahnya dengan menggunakan data suhu dan ketidakseimbangan sebelum diseimbangkan. Berikut *flowchat* proses perhitungan suhu keadaan setelah :



1. Input data

Membuat *trendline* menggunakan *software Ms. Exel* 2016 berdasarkan data pembebanan dan suhu sebelum dilakukan penyeimbangan beban.

2. Membuat trendline

Berikut cara menggunakan *trendline* :

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

Buka chart atau grafik yang akan dibuat *trendline*, atau dengan membuat sebuah grafik dengan cara berikut :

1. Ketik data Suhu belitan atau suhu minyak sebelum penyeimbangan dan ketidakseimbangan. lalu blok data tersebut.
2. Klik tab *ribbon Insert*
3. Misalkan kita buat diagram kolom,, klik tombol *Column* lalu klik *2D column*
4. Sebuah grafik kolom akan disisipkan dalam *worksheet*
 - a. Kemudian memilih salah satu series dari grafik batang yang ada untuk dibuat *trendline*.
 - b. Selanjutnya pada grafik akan ditampilkan sebuah garis *trendline* dan sekaligus muncul dialog *Format Trendline*.anda bisa mengatur *trendline* melalui dialog tersebut.
 - c. Atur jenis atau tipe garis *trendline* sesuai dengan data yang anda miliki untuk mendapatkan hasil *trendline* terbaik menurut anda. Anda bisa memilih jenis *trendline* pada bagian *Trend/Regression Type*, yakni : *Exponential* (eksponensial), *Linear* (garis lurus), *logarithmic* (logaritma), *Polynomial* (polinomial, pangkat banyak), *power* (pangkat), atau *Moving average* (pergerakan rata-rata). Anda juga bisa mengatur warna dan ketebalan maupun jenis garis *trendline* melalui kategori *Line Color dan Line Style*.
 - d. Menampilkan rumus persamaan pada *chart* dengan memberi tanda *check* pada item *Display Equation on Chart*.

3. Menghitung suhu

Dengan didapatkannya hasil dari simulasi *Trendline* menggunakan Ms. Exel, selanjutnya melakukan perhitungan suhu setelah melakukan penyeimbangan dengan menggunakan persamaan *trendline* yang didapat tadi. Selanjutnya, digunakan untuk menentukan nilai suhu sesudah dilakukan penyeimbangan.

Hasil yang didapatkan berupa nilai arus dari setiap fasa, arus netral, dan *losses* yang terjadi sebelum dan sesudah penyeimbangan melalui ETAP 12.6.0. Serta persamaan *trendline* dari data pembebanan dan suhu sebelum penyeimbangan melalui Ms. Exel 2016 untuk mendapatkan suhu belitan dan minyak setelah dilakukan penyeimbangan dalam bentuk persamaan :

$$Y = x \quad (3.1)$$

Dimana :

Y = Suhu setelah penyeimbangan

X = persentase ketidaksamaan beban

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 mengumpukan 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.

e. Menghitung Suhu Titik Panas (*hotspot*)

Suhu sekitar sangat berpengaruh untuk menentukan nilai dari *hotspot*. Penulis mengasumsikan suhu sekitar standard IEC 20°C, standard IEEE 30°C dan suhu sebenarnya di Indonesia memiliki suhu rata-rata siang hari 32 °C dan malam hari 23°C. Dengan menggunakan persamaan (2.20), (2.21), dan (2.22).

f. Menghitung Susut Umur Transformator

susut umur yang disebabkan oleh operasi harian atau bulanan pada suhu panas setempat 98 °C dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam. (2.23) Jika beban dan suhu sekitar kontinu selama satu periode maka laju/susut umur relatif, dinyatakan dengan persamaan (2.24).

3.4.8. Hasil dan Analisa Keadaan

Melakukan perbandingan keadaan sebelum dengan sesudah penyeimbangan, serta menganalisis nilai rugi-rugi, suhu transformator dan susut umur transformator yang terjadi setelah penyeimbangan. Perbandingan ini ditampilkan dalam bentuk grafik dengan tujuan mudah dalam memahami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Rafael, “Konsumsi Listrik Semakin Besar, Negara Semakin Maju,” 23 Maret 2019.
- [2] J. H. Marbun, Yusniati dan R. Nasution, “Analisa Perbaikan Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan 380 Volt Dengan Pemerataan Beban,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 4, 2019.
- [3] M. Mutari, “Analisis Ketidakseimbangan Beban dan Losses,” *Tugas Akhir*, 2018.
- [4] D. S. W. Jayabadi, B. Winarda dan M. Facta, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 GI Sronдол Terhadap Rugi-rugi Akibat Arus Netral Dan Suhu Trafo Menggunakan ETAP 12.6.0,” *Transient*, vol. 5, 2016.
- [5] R. Syadad, “Perkiraan Umur Transformator Tenaga Di Gardu Induk Banyudono Berdasar Variasi Pembebanan,” *Tugas Akhir*, 2019.
- [6] A. S. Gianto, C. G. Irianto dan D. Gianto, “Perhitungan Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Suhu Lingkungan,” *JETri*, vol. 13, pp. 15-36, 2015.
- [7] H. S. dan H. , “Analisis Suhu Hotspot dan Susut Umur Serta Pemodelan Distribusi Suhu Pada Belitan Transformator Daya,” *Skripsi*, 2016.
- [8] S. Yondri, T. Artono dan H. P. Sari, “Pengaruh Penyeimbang Beban Trafo Distribusi Terhadap Arus Netral,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, 2013.
- [9] M. Tambunan, A. Hariyanto dan W. K. Tindra, “Kerja Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 150/20 Kv 60 Mva,” *Jurnal Suten*, vol. , p. 91, 2015.
- [10] A. S. Gianto, “Analisa Perhitungan Umur Transformator Distribusi Yang Dioperasikan Di Indonesia,” *JETri*, vol. 13, p. 16, 2014.
- [11] U. Pekanbaru, “HASIL PENGUKURAN TEMPERATUR PERALATAN 20 kV GARDU INDUK GARUDA SAKTI BULAN FEBRUARI 2020,” PLN, Pekanbaru , 2020.
- [12] M. Ferry, D. Y. Sukma dan E. Ervianto, “Analisis Keberadaan Dan Pengembangan Gardu Induk Distribusi 20 kV Di Kota Pekanbaru,” *FTEKNIK*, vol. 2, pp. 1-3, 2015.

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.

[13] M. A. Muzar, S. dan M. Syukri, “Analisis Penaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro,” *KITEKTRO Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, 2018.

[14] Z. Sya’roni dan T. Rijanto, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV Dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah,” *Teknik Elektro*, vol. 08, pp. 173-180, 2019.

[15] Sentosa, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi,” *Teknik Elektro*, vol. 6, 2006.

[16] A. Prayoga, B. Marnatha S., E. Marulitua S dan M. Nahar, “Transformer,” Universitas Indonesia, Depok, 2010.

[17] M. Solikhudin, “Studi Gangguan Pada Transformator,” Universitas Indonesia, Depok, 2010.

[18] M. A. Siregar, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi” dengan memilih PT.PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru,” *Tugas Akhir*, 2013.

[19] Y. Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Yogyakarta, 2004.

[20] Sulasno, *Teknik Konversi Energi Listrik Dan Sistem Pengaturan*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.

[21] Suprianto, “Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *Distribusi, elekto*, 17 Oktober 2015.

[22] Darminedi75, “Jaringan Distribusi Listrik Tegangan Menengah,” 5 Desember 2017.

[23] M. I. Suartika dan W. Awe, “Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Untuk Memperbaiki Drop Tegangan Di Daerah Banjar Tulangnyuh Klungkung,” *Teknologi Elektro*, vol. 9, no. Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah, pp. 175-181, 2010.

[24] F. Abdillah, M. Pujiantara dan Soedibjo, “Penyeimbang Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Sehari Di PT. PLN Area Bukittinggi,” *Jurnal Teknik PomITS*, vol. 1, pp. 1-6, 2014.

[25] i. Multa, *Modul Pelatihan ETAP*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada., 2013.

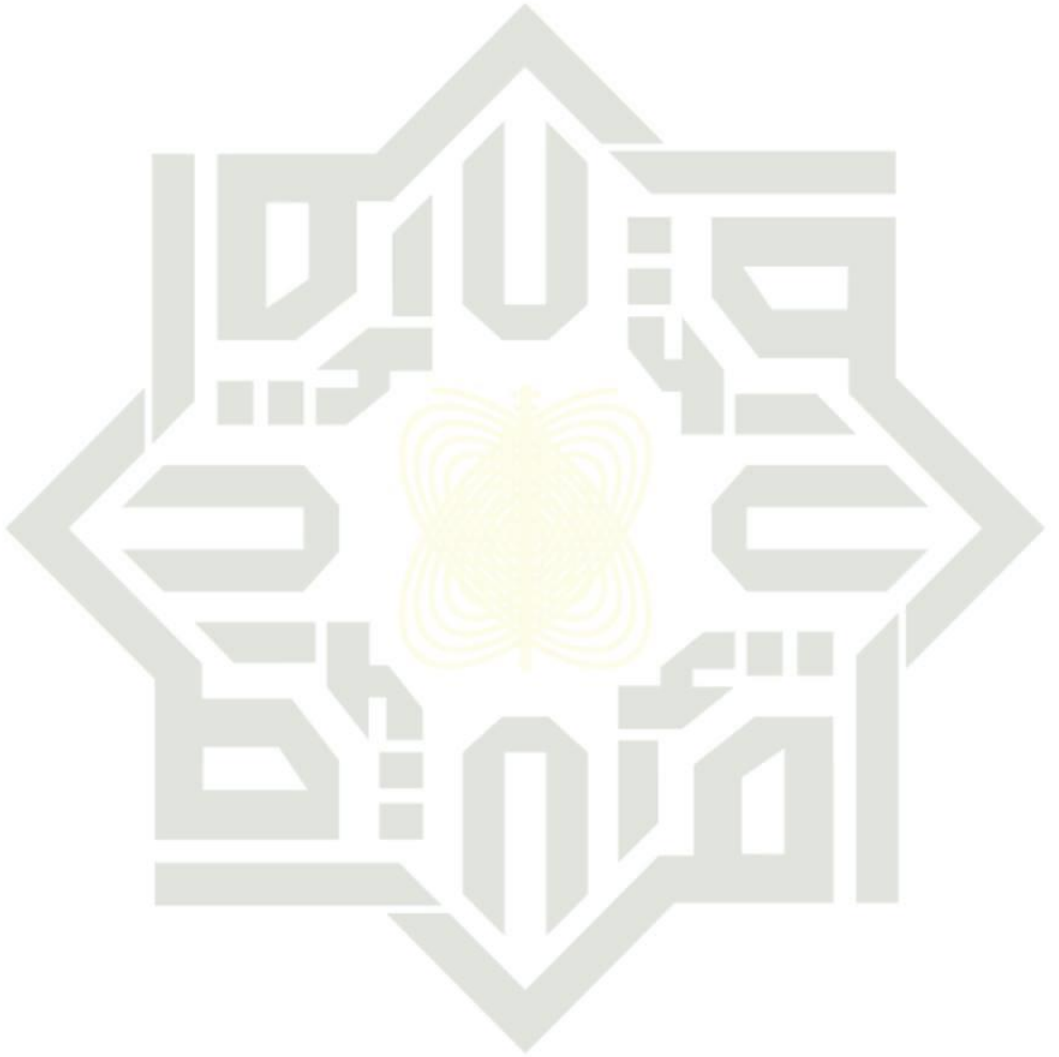
[26] N. Tharo, D. A. Tarigan dan R. Pulungan, “Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik,” vol. 1, pp. 115-120, 2018.

[27] A. Gunawan, “Semester I, Penjualan Listrik di Riau Naik 6,83 Persen,” 31 Juli 2019.

- [28] S. Dewi, "Pertumbuhan Kelistrikan PLN Siap Dukung Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Riau dan Kepri," 28 Oktober 2019.
- [29] A. S. 1. Putra, . K. I. Wijaya dan M. I. Mataram, "PEMERATAAN BEBAN PADA KARDU KD 056 PENYULANG TABANAN PT PLN (PERSERO) DISTRIK BALI AREA BALI SELATAN," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 5, pp. 82-88, 2018.

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.



UIN SUSKA RIAU

LAMPIRAN A
DATA PEMBEBANAN PENYULANG
GARDU INDUK GARUDA SAKTI FEBRUARI 2020

© Hak cipta

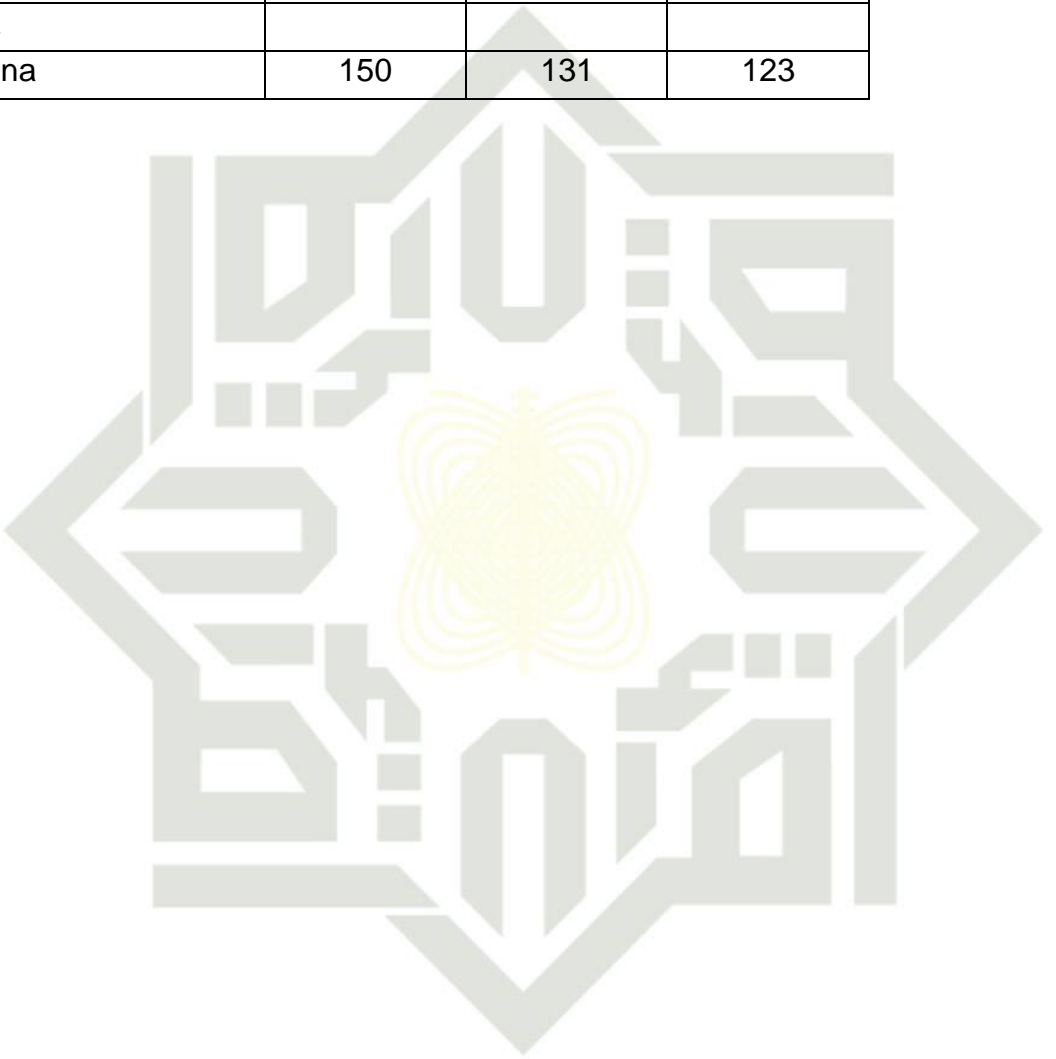
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

NO	TITIK PENGUKURAN	Beban (A)		
		R	S	T
I	Incoming TD # 1 20 KV			
1	F 1 Bawal	172	222	184
2	F 2 Mujair	274	229	270
3	F 3 Bandeng	169	216	225
4	F 4 Selais	194	258	273
5	F 5 Kakap	261	219	222
6	F 6 Spare			
7	F 7 Louhan	230	173	167
8	F 16 Kerapu	194	288	268
II	Incoming TD # 2 20 KV			
9	F 8 Tongkol	173	200	180
10	F 9 Buntal	136	172	154
11	F 10 Cupang	1	1	1
12	F 11 Spare			
13	F 12 Gabus	114	163	130
14	F 13 Gurami	130	122	118
15	F 14 Sepat	140	173	160
16	F 15 Koi	120	137	148
III	Incoming TD # 3 20 KV			
17	F 17 Lele			
18	F 18 Nila	98	120	100
19	F 19 teri	230	245	232
20	F 20 Belanak	101	112	124
21	F 21 Salmon	176	130	123
22	F 22 Napoleon	120	122	120
23	F 23 Patin	137	137	137
24	F 24 Toman	47	48	48

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

25	F 25 Pari	155	178	142
IV	Incoming TD # 4 20 KV			
26	F 26 Senangin	163	179	143
27	F 27 Cakalang	105	166	145
28	F 28 Tenggiri	230	224	107
29	F 29 Nemo	185	223	100
30	F 30 Tuna			
31	F 31 Arwana	150	131	123



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 B

HASIL PERHITUNGAN

A. Nilai Perhitungan Pembebanan Transformator

F1 Bawal

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{172+222+184}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 192 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{I_{rata-rata}}{IFL} \times 100\% = \frac{192}{288,6} \times 100\% = 66\%$$

F2 Mujair

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{274+229+270}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 257 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{I_{rata-rata}}{IFL} \times 100\% = \frac{257}{288,6} \times 100\% = 89\%$$

F3 Bandeng

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{169+216+225}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 203,3 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{I_{rata-rata}}{IFL} \times 100\% = \frac{203,3}{288,6} \times 100\% = 70\%$$

F4 Selais

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{194+258+273}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 241,6 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{\text{Rata-rata}}{\text{IFL}} \times 100\% = \frac{241,6}{288,6} \times 100\% = 83\%$$

F5 Kakap

$$\text{I rata-rata} = \frac{\text{IR} + \text{IS} + \text{IT}}{3}$$

$$\text{I rata-rata} = \frac{261 + 219 + 222}{3}$$

$$\text{I rata-rata} = 234 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{\text{Rata-rata}}{\text{IFL}} \times 100\% = \frac{234}{288,6} \times 100\% = 81\%$$

F7 Louhan

$$\text{I rata-rata} = \frac{\text{IR} + \text{IS} + \text{IT}}{3}$$

$$\text{I rata-rata} = \frac{230 + 173 + 167}{3}$$

$$\text{I rata-rata} = 190 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{\text{I Rata-rata}}{\text{IFL}} \times 100\% = \frac{190}{288,6} \times 100\% = 65\%$$

F16 Karapu

$$\text{I rata-rata} = \frac{\text{IR} + \text{IS} + \text{IT}}{3}$$

$$\text{I rata-rata} = \frac{194 + 288 + 268}{3}$$

$$\text{I rata-rata} = 250 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\% = \frac{\text{Rata-rata}}{\text{IFL}} \times 100\% = \frac{250}{288,6} \times 100\% = 86\%$$

B. Nilai Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Sebelum Penyeimbangan

F 1 Bawal

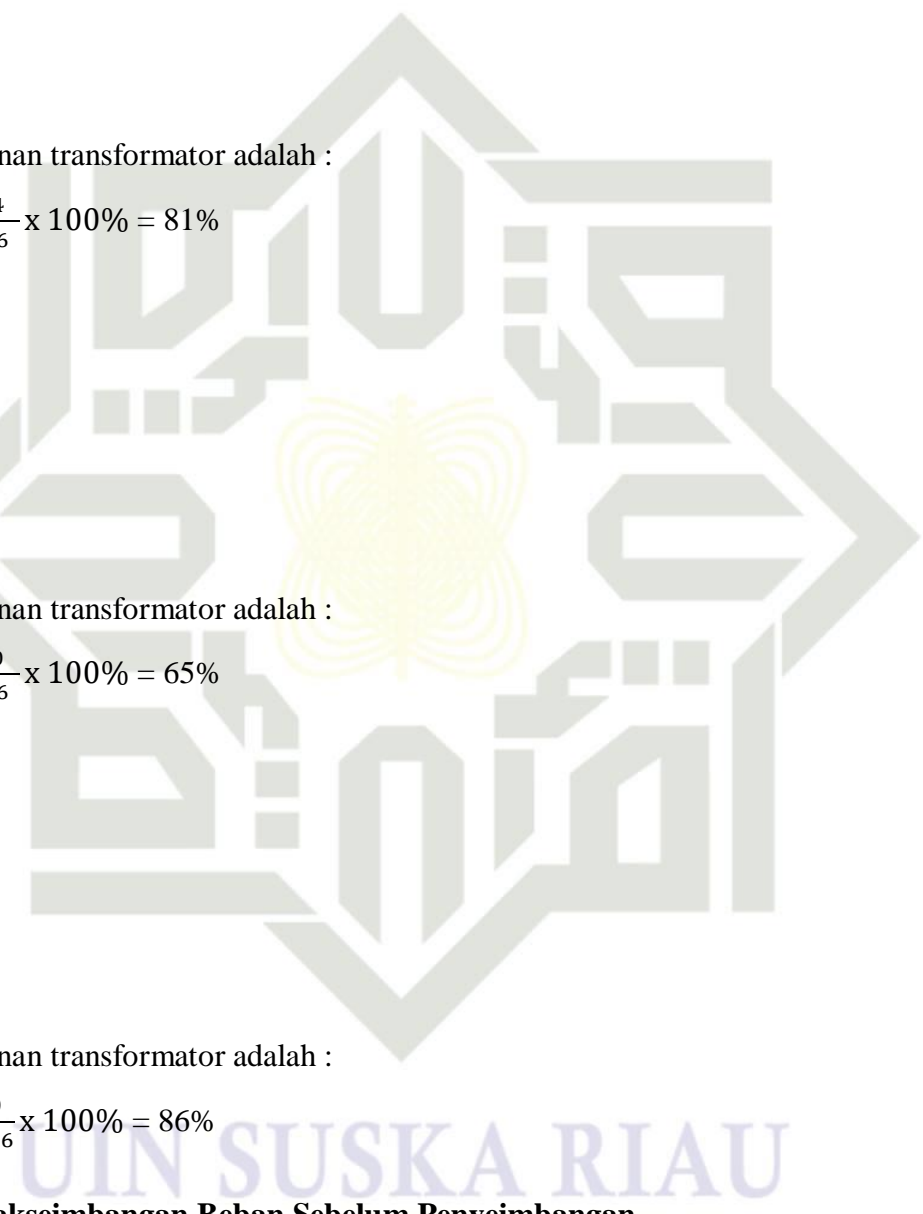
$$a = \frac{\text{I R}}{\text{Rata-rata}} = \frac{172}{192,6} = 0,89 \text{ A}$$

$$b = \frac{\text{I S}}{\text{Rata-rata}} = \frac{222}{192,6} = 1,15 \text{ A}$$

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

10 %

F 2 Mujair

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{274}{257} = 1,06A$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{229}{257} = 0,89 A$$

$$c = \frac{I T}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{270}{257} = 1,05 A$$

ProsentaseKetidakseimbangan transformator adalah :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|1,06 - 1| + |0,89 - 1| + |1,05 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|1,06| + |0,89| + |0,05 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

7 %

F 3 Bandeng

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{169}{203,3} = 0,83 A$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{216}{203,3} = 1,06 A$$

$$c = \frac{I T}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{225}{203,3} = 1,1 A$$

Persentase Ketidakseimbangan transformator adalah :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

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.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

F 4 Selais

a = $\frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{194}{241,6} = 0,8 \text{ A}$
 b = $\frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{258}{241,6} = 1,06 \text{ A}$
 c = $\frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{273}{241,6} = 1,12 \text{ A}$

Persentase Ketidakseimbangan transformator adalah :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,8 - 1| + |1,06 - 1| + |1,12 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,2| + |0,06| + |0,12|\}}{3} \times 100\%$$

11 %

F 5 Kakap

a = $\frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{358}{364} = 0,98 \text{ A}$
 b = $\frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{266}{364} = 0,73 \text{ A}$
 c = $\frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{468}{364} = 1,28 \text{ A}$

Persentase Ketidakseimbangan transformator adalah :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,98 - 1| + |0,73 - 1| + |1,28 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,02| + |0,27| + |0,28|\}}{3} \times 100\%$$

19%

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

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{230}{190} = 1,21 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{173}{190} = 0,91 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{167}{190} = 0,87 \text{ A}$$

Persentase Ketidakseimbangan transformator adalah :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|1,21 - 1| + |0,91 - 1| + |0,87 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,21| + |0,09| + |0,13|\}}{3} \times 100\%$$

14 %

F16 Karapu

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{194}{250} = 0,77 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{288}{250} = 1,15 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{268}{250} = 1,07 \text{ A}$$

Persentase Ketidakseimbangan transformator adalah :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,77 - 1| + |1,15 - 1| + |1,07 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,23| + |0,15| + |0,07|\}}{3} \times 100\%$$

15 %

C. Nilai Perhitungan Rugi-Rugi Daya Sebelum Penyeimabangan

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \cos \phi$$

$$P = 200 \cdot 0,85$$

$$P = 170 \text{ KW}$$

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

©

F 1 Bawal

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (77)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 5929 \times 1,0694 = 6,340 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{6,340}{170} \times 100\% = 3,7\%$$

F 2 Mujair

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (172)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 29584 \times 1,0694 = 31,63 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{31,63}{212,5} \times 100\% = 14,8 \%$$

F 3 Bandeng

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (122)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 14884 \times 1,0694 = 15,91 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{15,91}{170} \times 100\% = 9,3\%$$

F 4 Selais

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (123)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 15129 \times 1,0694 = 16,17 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{16,17}{212,5} \times 100\% = 7,6\%$$

F 5 Kakap

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (85)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 7225 \times 1,0694 = 7,72 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{7,72}{170} \times 100\% = 4,5\%$$

F 7 Louhan

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (109)^2 \times 1,0694$$

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.

Sate Ismamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

$$P_N = 1881 \times 1,0694 = 12,70 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{170} \times 100\% = \frac{12,7}{170} \times 100\% = 7,4\%$$

F16 Kerapu

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (98)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 9604 \times 1,0694 = 10,27 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{212,5} \times 100\% = \frac{10,27}{212,5} \times 100\% = 4,8\%$$

D. Nilai Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Setelah Penyeimbangan

F1 Barwal

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{178,2}{193,2} = 0,92$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{197,9}{193,2} = 1,02$$

$$c = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{203,5}{193,2} = 1,05$$

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,08 - 1| + |0,02 - 1| + |0,05 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{0,15\}}{3} \times 100\% = 5\%$$

F2 Mujair

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{272,5}{258,5} = 1,05$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{252,6}{258,5} = 0,97$$

$$c = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-rata}}} = \frac{250,4}{258,5} = 0,96$$

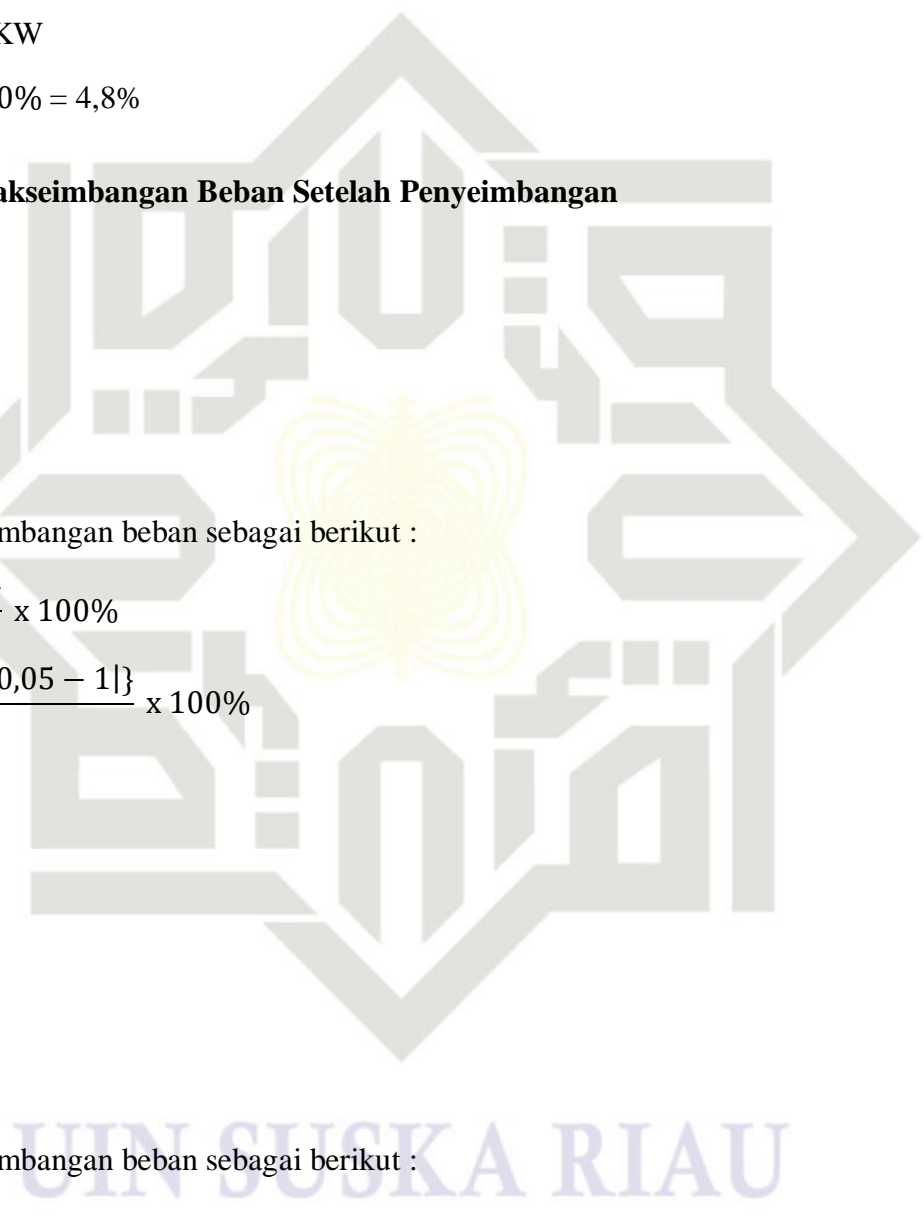
Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,05 - 1| + |0,03 - 1| + |0,04 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{0,12\}}{3} \times 100\% = 4\%$$

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



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

F3 Bandeng

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{198}{204} = 0,97$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{193,4}{204} = 0,94$$

$$c = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{220,8}{204} = 1,08$$

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,03 - 1| + |0,06 - 1| + |0,08 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,17|\}}{3} \times 100\% = 5\%$$

F4 Selais

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{235,1}{242,8} = 0,96$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{227,4}{242,8} = 0,93$$

$$c = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{266}{242,8} = 1,09$$

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,04 - 1| + |0,07 - 1| + |0,09 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,2|\}}{3} \times 100\% = 6\%$$

F5 Kakap

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{242,1}{234,6} = 1,03$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{240,9}{234,6} = 1,02$$

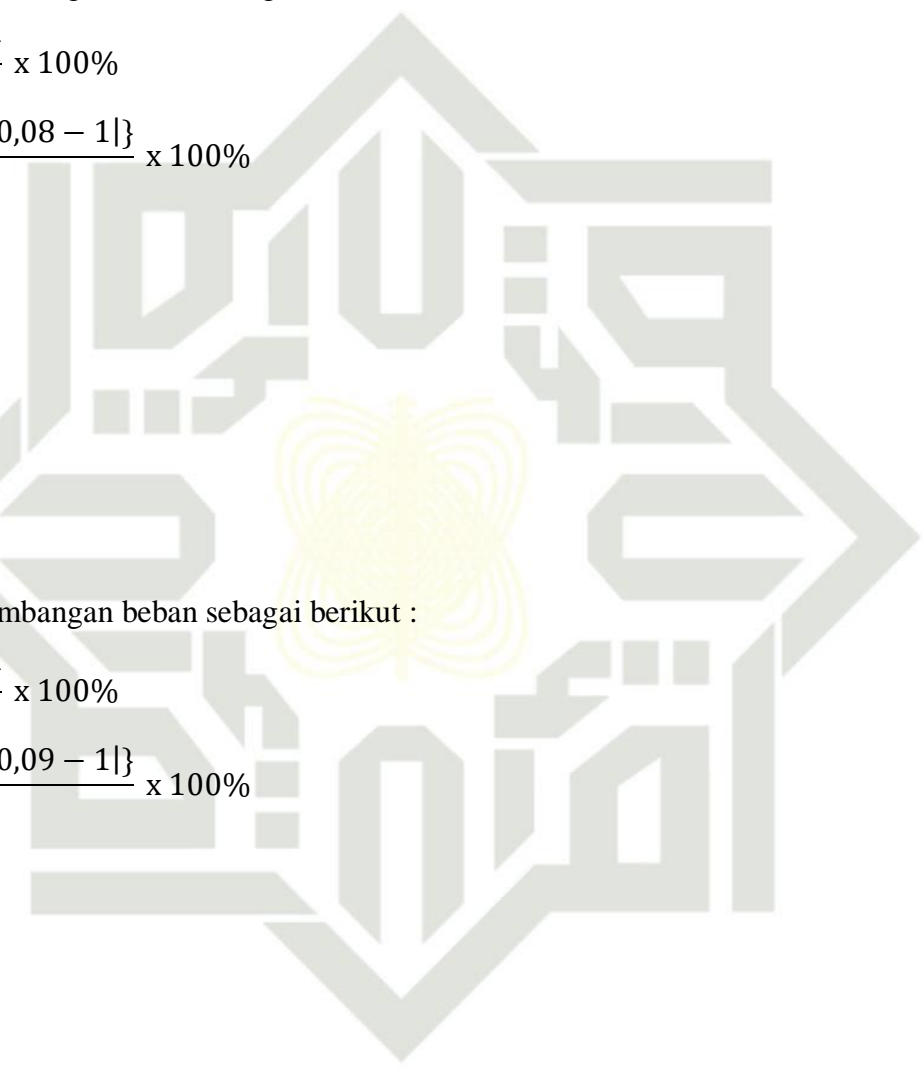
$$c = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{220,9}{234,6} = 0,94$$

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,03 - 1| + |0,03 - 1| + |0,06 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

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.



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

$$\frac{|0,11|}{3} \times 100\% = 3\%$$

F7 Louhan

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{199,5}{190,7} = 1,04$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{202,5}{190,7} = 1,06$$

$$c = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{170,2}{190,7} = 0,89$$

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,04 - 1| + |0,06 - 1| + |0,11 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{|0,21|}{3} \times 100\% = 7\%$$

F16 Kerapu

$$a = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{232,5}{251,4} = 0,92$$

$$b = \frac{I S}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{243,3}{251,4} = 0,96$$

$$c = \frac{I R}{I \text{ Rata-rata}} = \frac{278,6}{251,4} = 1,1$$

Persentase ketidaksimbangan beban sebagai berikut :

$$\frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{\{|0,08 - 1| + |0,04 - 1| + |0,1 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\frac{|0,22|}{3} \times 100\% = 7\%$$

E. Nilai Perhitungan Arus Netral Setelah Penyeimbangan

F1 Bawal

$$I_N = \sqrt{(178^2) + (197^2) + (203^2) - (178 \times 197) - (178 \times 203) - (197 \times 203)}$$

$$I_N = \sqrt{(31684) + (38809) + (41209) - (35066) - (36134) - (39991)}$$

$$I_N = \sqrt{511}$$

$$I_N = 22,6$$

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

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

F2 Mujair

$$I_N = \sqrt{(272^2) + (252^2) + (250^2) - (272 \times 252) - (272 \times 250) - (252 \times 250)}$$

$$I_N = \sqrt{(73984) + (63504) + (62500) - (68544) - (68000) - (63000)}$$

$$I_N = \sqrt{(444)}$$

$$I_N = 21,07$$

F3 Bandeng

$$I_N = \sqrt{(198^2) + (193^2) + (220^2) - (198 \times 193) - (198 \times 220) - (193 \times 220)}$$

$$I_N = \sqrt{(39204) + (37249) + (48400) - (38214) - (43560) - (42460)}$$

$$I_N = \sqrt{(619)}$$

$$I_N = 24,8$$

F4 Selais

$$I_N = \sqrt{(235^2) + (227^2) + (266^2) - (235 \times 227) - (235 \times 266) - (227 \times 266)}$$

$$I_N = \sqrt{(55225) + (51529) + (70756) - (53345) - (62510) - (60382)}$$

$$I_N = \sqrt{(1273)}$$

$$I_N = 35,6$$

F5 Kakap

$$I_N = \sqrt{(242^2) + (240^2) + (220^2) - (242 \times 240) - (242 \times 220) - (240 \times 220)}$$

$$I_N = \sqrt{(58564) + (57600) + (48400) - (58080) - (53240) - (52800)}$$

$$I_N = \sqrt{(444)}$$

$$I_N = 21,07$$

F7 Louhan

$$I_N = \sqrt{(199^2) + (202^2) + (170^2) - (199 \times 202) - (199 \times 170) - (202 \times 170)}$$

$$I_N = \sqrt{(39601) + (40804) + (28900) - (40198) - (33830) - (34340)}$$

$$I_N = \sqrt{(937)}$$

$$I_N = 30,6$$

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.

F16 Karapu

$$I_N = \sqrt{(232^2) + (243^2) + (278^2) - (232 \times 243) - (232 \times 278) - (243 \times 278)}$$

$$I_N = \sqrt{(53824) + (59049) + (77284) - (56376) - (64496) - (67554)}$$

$$I_N = \sqrt{(1731)}$$

$$I_N = 41,6$$

F. Nilai Perhitungan Rugi-Rugi Daya Setelah Penyeimbangan

F 1 Bawal

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (23)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 529 \times 1,0694 = 0,565 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,565}{170} \times 100\% = 0,2 \%$$

F 2 Mujair

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (21)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 441 \times 1,0694 = 0,471 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,471}{212,5} \times 100\% = 0,2\%$$

F 3 Bandeng

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (25)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 625 \times 1,0694 = 0,668 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,668}{170} \times 100\% = 0,3\%$$

F 4 Selais

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (36)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 1296 \times 1,0694 = 1,385 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1,385}{212,5} \times 100\% = 0,6\%$$

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

F 5 Kakap

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (21)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 441 \times 1,0694 = 0,471 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,471}{170} \times 100\% = 0,2\%$$

F 7 Louhan

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (31)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 961 \times 1,0694 = 1,027 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1,027}{170} \times 100\% = 0,6\%$$

F 16 Kerapu

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (42)^2 \times 1,0694$$

$$P_N = 1764 \times 1,0694 = 1,886 \text{ KW}$$

$$\% = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1,886}{212,5} \times 100\% = 0,8\%$$

G. Nilai Perhitungan Suhu Transformator

Suhu Minyak

Bawal dan Bandeng

$$Y = 0,5446x + 44,561$$

$$Y = 0,5446(5) + 44,561$$

$$Y = 41,838$$

Mujair

$$Y = 0,5446x + 44,561$$

$$Y = 0,5446(4) + 44,561$$

$$Y = 42,3826$$

Selais

$$Y = 0,5446x + 44,561$$

$$Y = 0,5446(6) + 44,561$$

$$Y = 41,2934$$

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Kakap

$$Y = -0,5446x + 44,561$$

$$Y = -0,5446(3) + 44,561$$

$$Y = 40,9272$$

Louhan dan Karapu

$$Y = -0,5446x + 44,561$$

$$Y = -0,5446(7) + 44,561$$

$$Y = 40,7488$$

a. Suhu Belitan

Bawal dan Bandeng

$$Y = -0,0494x + 58,478$$

$$Y = -0,0494(5) + 58,478$$

$$Y = 58,231$$

Mujair

$$Y = -0,0494x + 58,478$$

$$Y = -0,0494(4) + 58,478$$

$$Y = 58,2840$$

Selais

$$Y = -0,0494x + 58,478$$

$$Y = -0,0494(6) + 58,478$$

$$Y = 58,1816$$

Kakap

$$Y = -0,0494x + 58,478$$

$$Y = -0,0494(3) + 58,478$$

$$Y = 58,478$$

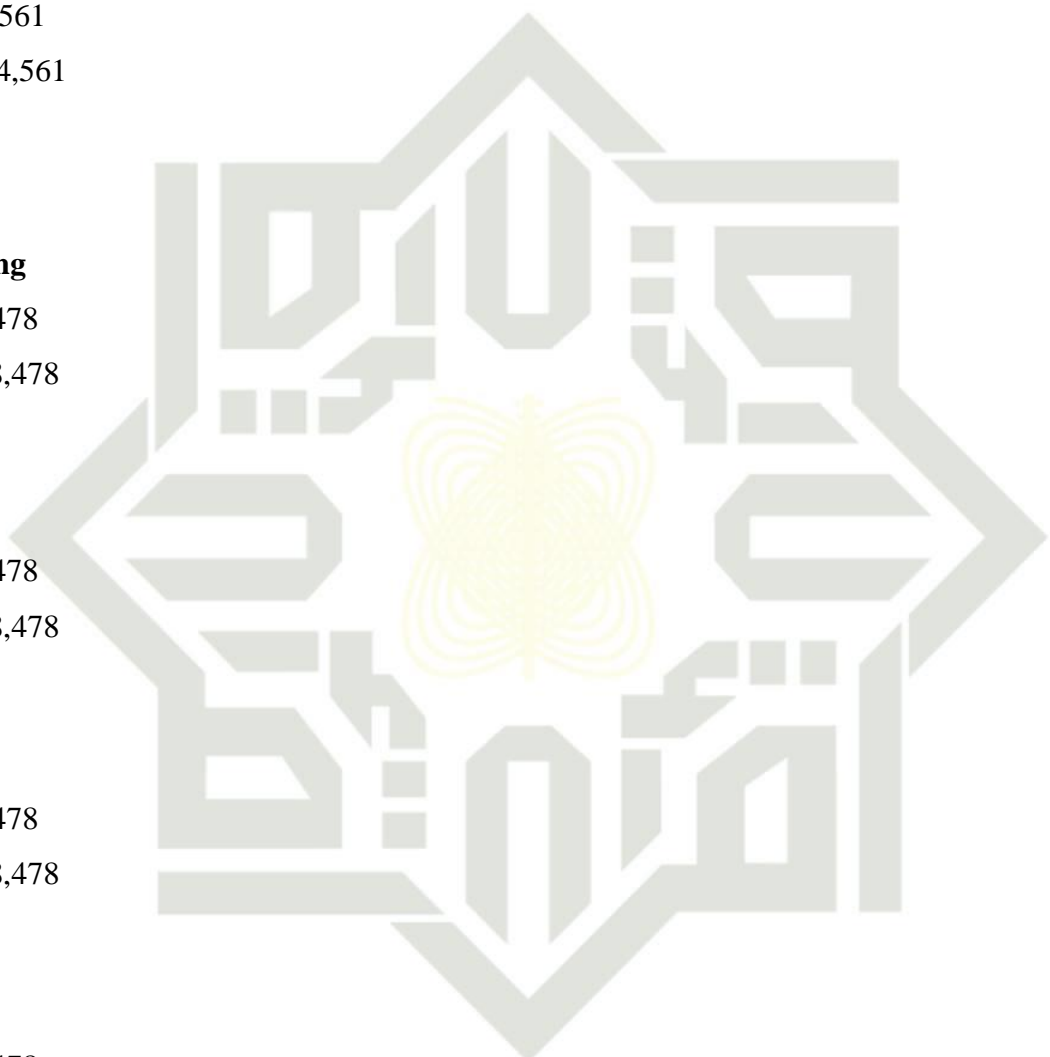
Louhan dan Karapu

$$Y = -0,0494x + 58,478$$

$$Y = -0,0494(7) + 58,478$$

$$Y = 58,1322$$

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.



H. Perhitungan Nilai Susut Umur Transformator Sebelum Penyeimbangan

Pada suhu sekitar 20°C

$$V = 2^{\frac{97,11-98}{6}} = 2^{-0,14} = 0,9$$

Pada suhu sekitar 30°C

$$V = 2^{\frac{107,11-98}{6}} = 2^{1,51} = 2,84$$

Pada suhu sekitar 40°C

$$V = 2^{\frac{117,11-98}{6}} = 2^{3,18} = 9,0$$

Setelah Penyeimbangan

Pada suhu sekitar 20°C

$$V = 2^{\frac{93,7-98}{6}} = 2^{-0,71} = 0,61$$

Pada suhu sekitar 30°C

$$V = 2^{\frac{103,7-98}{6}} = 2^{0,95} = 1,93$$

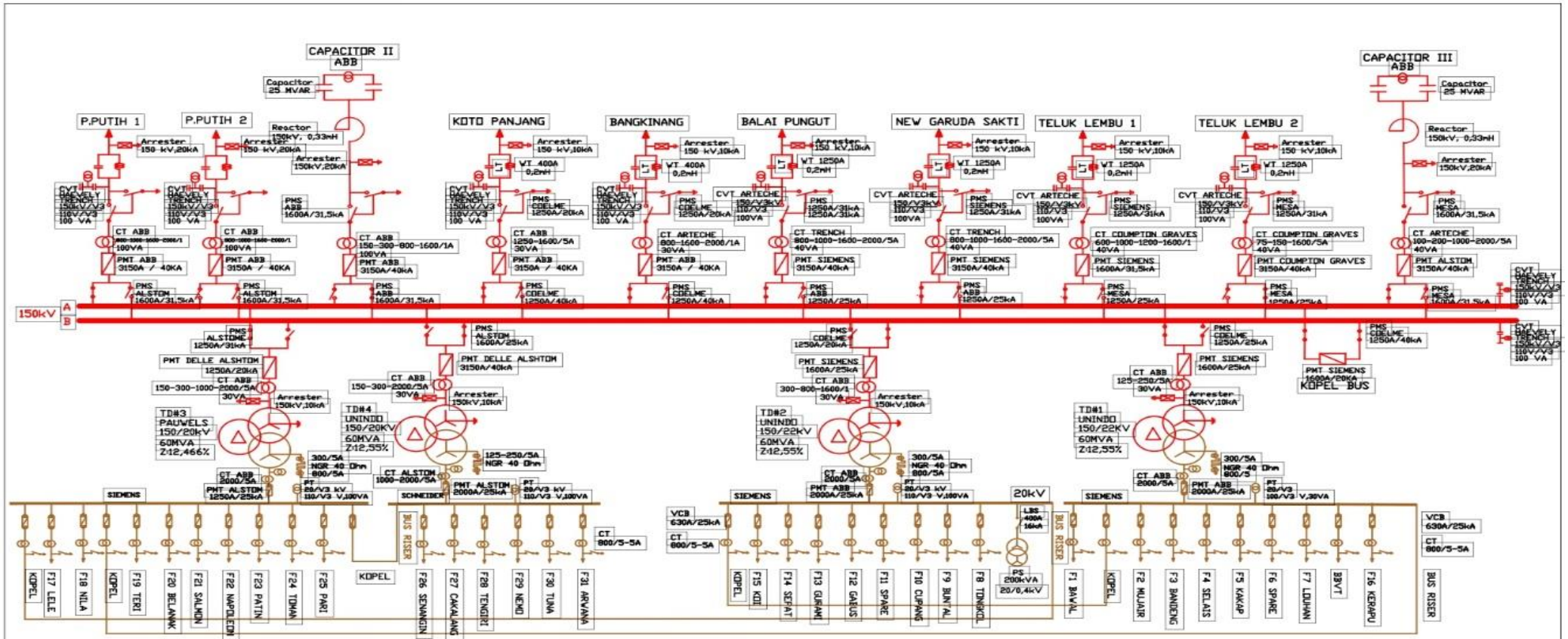
Pada suhu sekitar 40°C

$$V = 2^{\frac{113,7-98}{6}} = 2^{2,62} = 6,14$$

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

LAMPIRAN C

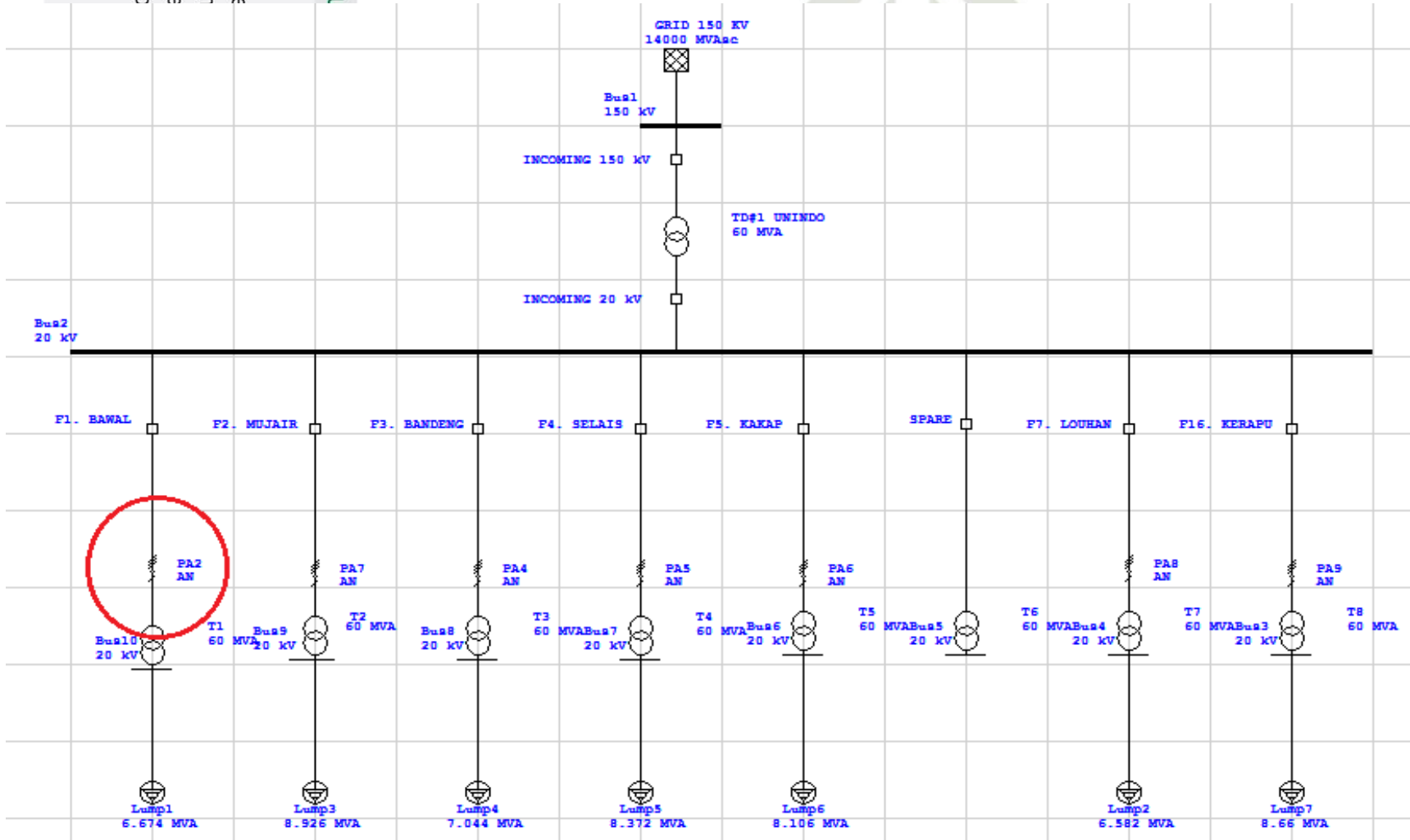
SINGLE LINE DIAGRAM GARDU INDUK GARUDA SAKTI



Digambar	GALUH RAHMADYARTO	Revisi ke	02
Diperiksa	BUDI PRIONO	Keterangan	
Diketahui	FADHLY VADRIANSYAH		
Disetujui	JULI SEMBIRING		
SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM		Skala	1 :
150/20 kV GARDU INDUK GARUDA SAKTI		Ukuran	No. Gambar : 003/SLD.01.01/REV/UPTPKU/2020
PT PLN (PERSERO) UI P3B SUMATERA UNIT PELAKSANA TRANSMISI PEKANBARU		Tanggal	JANUARI 2020

LAMPIRAN C

SIMULASI PENYEIMBANGAN ETAP 12.6.0 MENGGUNAKAN PHASA ADAPTER



LAMPIRAN D

DATA PEMBEBANAN PENYULANG

SIMULASI ETAP 12.6.0 PHASA ADAPTER

ETAP

Page: 8

Date: 06-09-2020

SN:

Revision: Base

Config.: Normal

12.6.0H

Study Case: ULF

Unbalanced Load Flow Report

Phase	Voltage		Generation		Load		ID	Load Flow				XFMR		
	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar		Phase	MW	Mvar	Amp	% PF	% Tap	
150.000	A	100.009	0.0	15.094	12.319	0	0	Bus2	A	15.094	12.319	224.9	77.5	
	B	99.999	-120.0	15.583	11.676	0	0		B	15.583	11.676	224.8	80.0	
	C	99.992	120.0	15.889	12.421	0	0		C	15.889	12.421	232.9	78.8	
	N								N			0.0		
20.000	A	100.120	-5.7	0	0	0	0	Bus3	A	2.136	1.632	232.5	79.5	
	B	100.567	-125.9	0	0	0	0		B	2.548	1.219	243.3	90.2	
	C	100.075	114.0	0	0	0	0		C	2.698	1.755	278.6	83.8	
	N								N			0.0		
								Bus4	A	2.058	1.040	199.5	89.3	
									B	1.890	1.400	202.5	80.3	
									C	1.661	1.053	170.2	84.5	
									N			0.0		
								Bus5	A	0.000	-0.001	0.0	10.0	
									B	0.000	-0.001	0.1	0.0	
									C	0.000	-0.001	0.0	10.0	
									N			0.0		
								Bus6	A	2.438	1.374	242.1	87.1	
									B	2.297	1.597	240.9	82.1	
									C	2.174	1.338	220.9	85.2	
									N			0.0		
								Bus7	A	2.151	1.661	235.1	79.1	
									B	2.347	1.211	227.4	88.9	
									C	2.637	1.579	266.0	85.8	
									N			0.0		
								Bus8	A	1.833	1.370	198.0	80.1	
									B	1.985	1.051	193.4	88.4	
									C	2.184	1.319	220.8	85.6	
									N			0.0		
								Bus9	A	2.676	1.663	272.5	84.9	
									B	2.406	1.678	252.6	82.0	
									C	2.527	1.409	250.4	87.3	
									N			0.0		
								Bus10	A	1.725	1.127	178.2	83.7	
									B	2.034	1.070	197.9	88.5	
									C	1.928	1.345	203.5	82.0	
									N			0.0		

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Tiko Arjanati Putra, lahir di Lubuk Alung, 29 Januari 1998 sebagai anak bungsu empat bersaudara dari ayahanda Nazwir dan ibunda Tirana.

Beralamat di Desa Palembang, Nagari Sintuk, Kec.

Sintuk Toboh Gadang, Kab. Padang Pariaman

email : arjanatitiko@gmail.com.

HP : 082284269909

Pengalaman pendidikan yang dilalui dimulai pada SD Negeri 05 Sintoga tahun 2004 – 2010 dan dilanjutkan di SMP Negeri 01 Sintoga tahun 2010 – 2013. Setamat SMPN, pendidikan dilanjutkan di SMA Pekanbaru hingga 2016. Kemudian kuliah di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau dan lulus tahun 2020.

© 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.