

**ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA  
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) RAYON  
PANAM PEKANBARU**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Jurusan Teknik Elektro



**UIN SUSKA RIAU**

Oleh :

**MHD. ARIFIN SIREGAR**

**10655004545**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
PEKANBARU**

**2013**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA  
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO)  
RAYON PANAM PEKANBARU**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**MHD. ARIFIN SIREGAR**

**10655004545**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal .....2013

**Pembimbing**



**Liliana, S.T., M.Eng**

**NIP : 19781012 200312 2 004**

**Koordinator TA**



**Dian Mursvitah, S.T., M.T**

**NIK. 130510013**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) RAYON PANAM PEKANBARU

#### TUGAS AKHIR

Oleh:

**MHD. ARIFIN SIREGAR**

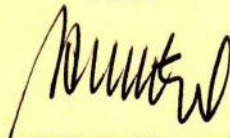
**10655004545**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 19 september 2013

Pekanbaru,

Mengesahkan,

**Dekan**



**Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si**

**NIP. 19601125 198503 2 002**

**Ketua Jurusan**



**Kunaifi, S.T., PgDipEnSt., M.Sc**

**NIP: 19760724 200710 1 003**

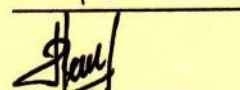
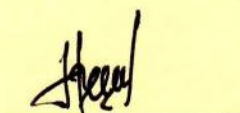
#### DEWAN PENGUJI :

**Ketua : Liliana, S.T., M.Eng**

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

**Anggota I : Aulia Ullah, S.T., M.Eng**

**Anggota II : Dian Mursyitah, S.T., M.T**



**ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA  
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) RAYON  
PANAM PEKANBARU**

**MHD. ARIFIN SIREGAR**

**NIM : 10655004545**

Tanggal Sidang : 21 Juni 2013

Tanggal Wisuda : 2013

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

**ABSTRAK**

Ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan ketidakseimbangan tersebut terjadi karena ketidaksamaan pemakaian energi listrik. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir di penghantar netral trafo ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi, yaitu rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo. Rugi-rugi yang terdapat pada trafo adalah rugi daya, rugi inti dan rugi tembaga. Dalam menganalisis masalah menggunakan model matematis meliputi persamaan ketidakseimbangan beban trafo, rugi-rugi daya dan efisiensi. Setelah dianalisis menunjukkan bahwa trafo dalam keadaan tidak seimbang dimana bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar. Efisiensi trafo akan semakin besar jika selisih daya masuk dan daya keluar kecil. Rugi daya yang terjadi 1,583 kW dan efisiensi 97,7%.

**Kata kunci : Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, rugi-rugi, Efisiensi**

***THE UNBALANCED LOAD ANALYSIS ON DISTRIBUTION  
TRANSFORMER IN PT. PLN (PERSERO) RAYON***

***PANAM PEKANBARU***

**MHD. ARIFIN SIREGAR**

**NIM : 10655004545**

*Date of Final Exam : June 21<sup>th</sup> 2013*

*Department of Electrical Engineering*

*Faculty of Science and Technology*

*State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau*

*Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru - Indonesia*

***ABSTRACT***

*The unbalanced load in electric power distribution transformer always happen and it is caused by unbalanced energy. The effect of the unbalanced load is appear as a neutral current. These neutral current cause losses, those are losses caused by neutral current in neutral conductor on distribution transformers. Losses in transformer is energy losses, eddy current losses, hysteresis losses and copper losses. In analysing used model mathematical the problem covering equation unbalanced load, losses and efficiency. In conclusion, when high unbalanced load happened, then the neutral current that appear is also high, ultimately the losses that caused by the neutral current flows to ground will be high too. Transformer efficiency will be ever greater if energy difference enter and small losses or energy out. Energy losses in transformer is 1,583 kW and efficiency is 97,7%.*

***Key words : Unbalanced Load, Neutral Current, Losses, efficiency***

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr, Wb

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Salawat beserta salam kita panjatkan kepada junjungan alam yakni Nabi besar kita Muhammad SAW. Dengan limpahan kasih sayang Allah SWT penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi S1 di jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu penulis baik itu berupa moral, materil, ataupun berupa pikiran sehingga terlaksananya penelitian dan penulisan laporan ini, antara lain kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yang sangat penulis sayangi dan seluruh anggota keluarga atas segala do'a, nasihat, motivasi dan kasih sayangnya yang tidak terhingga besarnya.
2. Ibu Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Bapak Kunaifi, S.T, PgDipEnSt, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.
4. Ibu Liliana, S.T., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir I.
6. Ibu Dian Mursyitah, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji II.
7. Ibu Novi Gusnita selaku dosen teknik Elektro
8. Pak Sutoyo selaku Kordinator tugas ahir Jurusan teknik elektro
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah banyak membimbing.
10. *My brother* (Ali Muda Siregar dan Barjul Hasan Siregar), *my sister* (Masrianun Siregar dan Erlidah Siregar)
11. Abang ipar saya Bengkas Angkola Pulungan dan Iklas Batubara
12. Teman seperjuangan angkatan 2006 :

Ahmad Faizal “Ocu”, Rio “Slash”, Bisri, Kharul Fahri “irul”, Adi “Gapuak”, Roy “Gookiel”, Abdul Hasikin “Wakbul”, Yudi “Ambon”, Budi “kimbud”, Defter, Deni, Sandrio, Harminsah “Poligo”, Febri, Rajes, Feri, Ana, Ades, Siti Habibah, Dian, Mardha “Upiak”, Wike dan lain - lain.

13. Senior dan Junior Teknik Elektro UIN SUSKA RIAU.
14. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam mengerjakan laporan ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Laporan penelitian ini merupakan salah satu syarat kelulusan untuk menyelesaikan studi S1 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Penulis sangat menyadari bahwa penelitian ini belum sempurna adanya, sehingga kritik dan saran dari seluruh pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnanya laporan penelitian ini. Semoga Allah SWT, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, melimpahkan rahmat-Nya kepada Bapak/Ibu serta rekan-rekan, sebagai imbalan atas segala jasa yang telah diberikan kepada penulis. Demikian pula semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua umumnya. Khususnya bagi teman-teman yang menekuni ilmu yang sama.

Pekanbaru, .....2013

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACK</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR RUMUS .....	xv
DAFTAR SINGKATAN .....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1. Latar Belakang .....	I-1
2. Rumusan Masalah .....	I-3
3. Batasan Masalah .....	I-3
4. Tujuan Penelitian .....	I-3
5. Manfaat Penelitian .....	I-4
BAB II. STUDI LITERATUR	
2.1 Studi Literatur .....	II-1
2.2 Dasar Teori .....	II-1
2.2.1 Transformator .....	II-2
2.2.2 Prinsip Kerja Transformator .....	II-2



2.3	Jenis-jenis Transformator .....	II-3
2.3.1	Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan .....	II-3
2.3.2	Transformator Berdasarkan Fungsi .....	II-4
2.4	Transformator Distribusi .....	II-5
2.4.1	Kumparan .....	II-5
2.4.2	Inti .....	II-6
2.4.3	Minyak Transformator .....	II-6
2.4.4	Bushing transformator .....	II-7
2.4.5	Tipe Pendinginan Transformator .....	II-7
2.5	Transformator Tiga Fasa .....	II-8
2.5.1	Transformator Hubung Bintang (Y) .....	II-9
2.5.2	Transformator Hubung Delta ( $\Delta$ ) .....	II-10
2.5.3	Transformator Hubung Zig-zag .....	II-11
2.6	Jaringan Distribusi .....	II-12
2.6.1	Jaringan Distribusi Menurut Besar tegangan .....	II-13
2.6.2	Jaringan Distribusi Menurut Frekuensi .....	II-13
2.6.3	Jaringan Distribusi Menurut Konstruksi .....	II-13
2.6.4	Jaringan Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan .....	II-14
2.7	Daya Pada Saluran Distribusi .....	II-15
2.8	Arus Beban Penuh .....	II-16
2.9	Ketidakseimbangan Beban Transformator .....	II-17
2.10	Rugi-rugi Daya Pada Transformator .....	II-17
2.10.1	Rugi-rugi Inti (Besi) .....	II-17
2.10.2	Rugi-rugi Tembaga .....	II-19
2.11	Rugi-rugi Arus Netral Pada Transformator .....	II-19
2.12	Efisiensi Transformator .....	II-20

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian .....	III-1
3.2	Tahapan Penelitian .....	III-1
3.3	Studi Literatur .....	III-1
3.4	Pengambilan Data .....	III-2
3.4.1	Data Arus .....	III-2
3.4.2	Data Tegangan .....	III-2
3.4.3	Data Tahanan atau <i>Resistansi</i> .....	III-2
3.4.4	Data Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> .....	III-3
3.5	Analisis Data .....	III-3
3.5.1	Analisis Beban Puncak .....	III-3
3.5.2	Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo .....	III-4
3.5.3	Analisis Rugi-rugi Daya .....	III-4
3.5.4	Analisis Efisiensi .....	III-4
3.6	Hasil .....	III-4

### BAB IV. ANALISIS DAN HASIL

4.1	Analisis .....	IV-1
4.1.1	Analisis Beban Puncak .....	IV-2
4.1.2	Analisis Ketidakseimbangan Beban .....	IV-2
4.1.3	Analisis Rugi-rugi daya .....	IV-4
4.1.4	Analisis Efisiensi .....	IV-4
4.2	Hasil .....	IV-6

### BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan
5.2	Saran

### DAFTAR PUSTAKA

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1. Latar Belakang**

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan disegala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik (Sentosa, dkk. 2006).

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan laju pembangunan yang semakin pesat di Pekanbaru khususnya daerah Panam akan menuntut energi listrik yang semakin besar dan lebih berkualitas. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya aktivitas masyarakat di berbagai sektor kehidupan, baik sektor industri maupun dalam kegiatan rumah tangga. Peningkatan aktivitas masyarakat ini akan mengakibatkan semakin meningkat pula kebutuhan konsumsi energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin besar tersebut, pihak PLN terus berusaha untuk memenuhi kebutuhan itu dengan berbagai cara termasuk membangun pusat-pusat pembangkit energi listrik di berbagai daerah. (Sudiarta, 2012)

Pemilihan judul “Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi” ini pada dasarnya berawal dari pemadaman listrik yang bertahap yang dilakukan pihak PLN. Dari pemadaman listrik ini, sangat meresahkan masyarakat baik itu pihak industri maupun pelanggan rumah tangga. Dari kejadian tersebut, peneliti mencari faktor yang menyebabkan dilakukan pemadaman, yang mana salah satu karena kurangnya pasokan energi listrik.

Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan adanya rugi-rugi daya dimana arus mengalir di penghantar netral. Untuk mengoptimalkan pembebanan daya

listrik agar tidak ada daya yang hilang sia-sia, maka peneliti mengadakan penelitian tentang analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi.

Pemakaian beban listrik yang tidak seimbang dengan besar langganan daya dapat menyebabkan tidak *efisien* dalam hal pembiayaan. Hal ini menyebabkan tingginya biaya rekening listrik yang dibayarkan setiap bulannya. Ditambah pula dengan diberlakukannya denda penalti akibat rendahnya faktor daya khusus untuk langganan Tegangan Menengah. Rendahnya efisiensi trafo yang berarti besarnya *losses* (rugi-rugi) dapat menyebabkan kerugian di sisi *power provider* dalam hal ini PT. PLN (Persero) dan konsumen terutama bagi pelanggan Tegangan Menengah. Rendahnya efisiensi trafo dapat disebabkan oleh rendahnya faktor daya, serta rendahnya pembebanan akibat pemakaian beban *non linier* (Ermawanto, 2013).

Untuk memberikan layanan yang baik, pihak PLN harus memperhatikan hal - hal yang dapat mengurangi kualitas energi listrik, diantaranya pemilihan transformator yang efisien dan pembebanan yang tidak seimbang. Transformator merupakan salah satu perangkat listrik yang berperan penting dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan. Dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan, terkadang tidak semua energi yang dibangkitkan sampai ke pelanggan karena ada rugi-rugi yang terjadi pada trafo, pemilihan trafo yang tidak efisien dan karena ketidakseimbangan beban yang dapat mengurangi daya listrik .

Pada dasarnya dilakukan pembagian beban yang merata, tetapi karena ketidaksamaan waktu penyalaan beban tersebut, maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) menyebabkan arus mengalir dipenghantar netral trafo.(Sentosa, dkk. 2006)

Arus yang mengalir di penghantar netral trafo distribusi ini dikatakan dengan rugi-rugi. Dilakukan penelitian ini supaya diketahui berapa rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru yang disebabkan ketidakseimbangan beban tersebut.

Analisis ketidakseimbangan beban pada trafo perlu dilakukan agar dapat diketahui apa yang terjadi dengan ketidaksetimbangan beban tersebut pada trafo,

mengetahui berapa besar rugi-rugi yang terjadi dan diharapkan agar dapat mengantisipasi supaya ketidakseimbangan beban tersebut bisa diminimalisir.

Dari uraian latar belakang diatas, maka disusunlah tugas ahir ini dengan judul “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi” dengan memilih PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru Jln. HR. Soebrantas, Pekanbaru sebagai tempat studi kasus.

## **2. Rumusan masalah**

Dari uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Pekanbaru terhadap arus, tegangan, daya dan efisiensi?
2. Berapa besar rugi-rugi arus daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru?

## **3. Batasan Masalah**

Pembahasan tentang transformator sangat luas. Dari itu, maka di buat batasan masalah agar pembahasan tetap pada penelitian yaitu:

1. Hanya membahas pengaruh ketidakseimbangan beban pada transformator dirtribusi terhadap arus, tegangan, daya dan efisiensi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru.
2. Transformator yang dibahas yaitu transformator distribusi yang ada di gardu induk PT. PLN (Persero) Pekanbaru.
3. Hanya membahas rugi–rugi daya dan efisiensi pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru.
4. Tidak membahas tentang kerusakan transformator yang disebabkan faktor lain.
5. Tidak membahas kerugian materi akibat terjadinya rugi-rugi daya.

#### **4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kondisi transformator akibat ketidaksetimbangan beban pada transformator distribusi terhadap arus, tegangan, daya dan efisiensi PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru.
2. Untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya dan efisiensi yang terjadi akibat ketidaksetimbangan beban pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru.

#### **5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi, khususnya untuk pihak PLN agar lebih teliti dalam perencanaan pembangunan transformator distribusi.
2. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan teknologi, terutama pada jurusan teknik elektro .

## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### 2.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah 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 Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi” ini. Buku-buku yang dijadikan sebagai referensi didapat dari toko-toko buku yang ada di Pekanbaru dan dari beberapa Perpustakaan yang ada di Pekanbaru seperti Perpustakaan UIN SUSKA RIAU dan Pustaka Wilayah Pekanbaru.

Jurnal-jurnal yang dijadikan sebagai referensi didapat dari internet dimana jurnal yang digunakan harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh pihak jurusan Teknik Elektro UIN SUSKA RIAU. Ketentuan ini dibuat supaya hasil dari penelitian ini bisa dipertanggung jawabkan nantinya. Jurnal-jurnal tersebut meliputi tinjauan pustaka terkait dalam penelitian ini seperti berikut ini:

Tinjauan pustaka terkait adalah:

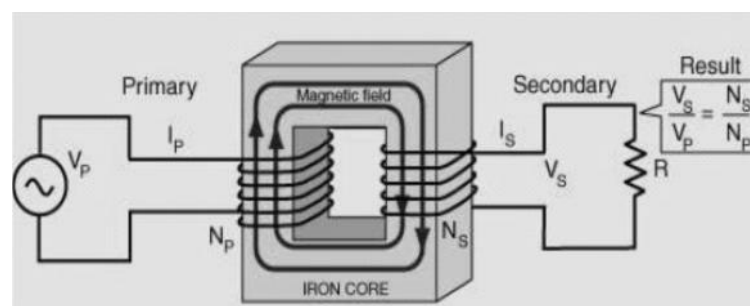
1. Peneliti Sentosa, dkk. (2006) dengan judul penelitian “***Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi***”, dalam jurnal ini membahas tentang analisis ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada transformator distribusi yang dilakukan di PT. PLN (Persero) Jawa Timur.
2. Peneliti Kawihing (2013) dengan judul “***Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder***”, dalam jurnal penelitian ini membahas tentang akibat dari ketidakmerataan beban sistem jaringan distribusi pada transformator distribusi sekunder.
3. Peneliti Watiningsih (2012) dengan judul “***Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi***” jurnal penelitian ini membahas tentang pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral para trafo distribusi tiang. Membandingkan pemerataan beban pada siang dan malam hari.

4. Peneliti Dahlan (2009) dengan judul “Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trasnformator Distribusi”, jurnal penelitian ini membahas tentang akibat ketidakseimbangan beban pada trafo distribusitan.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. (Sentosa, dkk. 2006)



Gambar 2.1 Teori dasar transformator

(Sumber. Ermawanto 2013)

### 2.2.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum *ampere* dan *faraday* yaitu “arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik”. Jika salah satu kumparan pada trafo dialiri arus listrik, maka timbul gaya garis magnet yang berubah–ubah. Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet dari kumparan primer yang besarnya berubah–ubah dan di kumparan



sekunder juga timbul induksi yang diakibatkan antara dua ujung kumparan terdapat beda tegangan. Jumlah garis gaya ( , *fluks* ) yang masuk kumparan sekunder adalah sama dengan garis gaya yang keluar dari kumparan primer. (Sulasno, 2009

$$e_1 = - N_1 \frac{d}{dt} \quad \text{dan} \quad e_2 = - N_2 \frac{d}{dt} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\frac{e_1}{e_2} = - N_1 \frac{d}{dt} / -N_2 \frac{d}{dt} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

Jadi :

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana:

$e_1$  = ggl induksi/tegangan sesaat pada kumparan primer (V).

$e_2$  = ggl induksi /tegangan sesaat pada kumparan sekunder (V).

$E_1$  = ggl induksi/tegangan efektif pada kumparan primer (V).

$E_2$  = ggl induksi/tegangan efektif pada kumparan sekunder (V).

$N_1$  = jumlah lilitan kumparan primer.

$N_2$  = jumlah lilitan kumparan sekunder.

## 2.3 Jenis-jenis Transformator

### 2.3.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan

Transformator dapat dibedakan berdasarkan pasangan kumparan atau lilitannya menjadi:

- Transformator satu belitan
- Trasnformator dua belitan

- Transformator tiga 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”. Trafo dua belitan adalah trafo yang mempunyai dua belitan yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana kumparan sekunder dan primer berdiri sendiri. Trafo tiga belitan adalah trafo yang mempunyai belitan primer, sekunder dan tersier, masing masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda. (Sulasno, 2009)

### 2.3.2 Transformator Berdasarkan Fungsi

Menurut fungsinya transformator dibagi atas:

- Transformator daya
- Transformator distribusi
- Transformator pengukuran
- Transformator elektronik

#### a) Transformator Daya

Transformator daya adalah trafo yang digunakan untuk pemasok daya. Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (*steep-up*) dan menurunkan tegangan listrik (*step-down*). Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tingginya merupakan tegangan transmisi. 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 ). (Sulasno, 2009)

#### b) Transformator Distribusi

Transformator distribusi pada dasarnya sama dengan transformator daya, bedanya adalah tegangan rendah pada tafo daya bila dibandingkan dengan tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi. Kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan tegangan distribusi yaitu untuk distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR). Trafo distribusi digunakan mendistribusikan energi listrik langsung ke pelanggan. (Sulasno, 2009)

Trafo Distribusi yang umum digunakan adalah trafo *step down* 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena terjadi *drop* tegangan maka tegangan rak TR dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt. (Kawihing, dkk. 2013)

**c) 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*.(Sulasno, 2009)

**d) Tranformator Elektronik**

Tranformator ini prinsipnya sama seperti transformator daya, tapi kapasitas daya reaktif sangat kecil, yaitu kurang 300 VA yang digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik. (Sulasno, 2009)

## 2.4 Transformator Distribusi

Tujuan penggunaan transformator distribusi adalah untuk menyesuaikan tegangan utama dari sistem distribusi menjadi tegangan yang sesuai dengan kebutuhan konsumen.



Gambar 2.2 Trafo Distribusi

(Sumber: Agung Afrianto, dkk. 2012)

Secara umum konstruksi transformator terdiri dari:

1. Kumparan

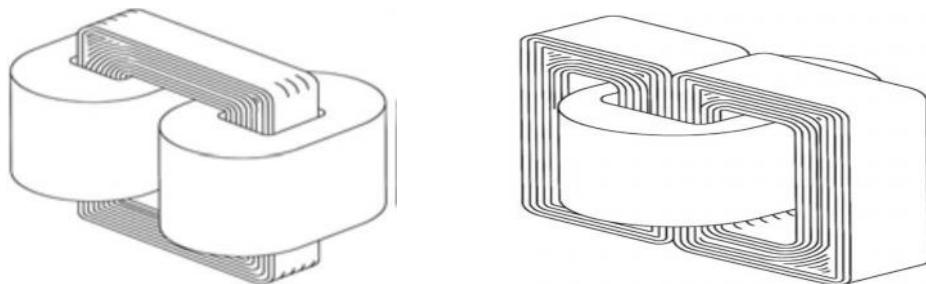
2. Inti Transformator
3. Minyak Transformator
4. Bushing Transformator
5. Tipe Pendingin Transformator

#### 2.4.1 Kumparan

Transformator terdiri dari dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang mana jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

#### 2.4.2 Inti

Secara umum inti transformator terdiri dari dua tipe yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Tipe inti dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi panjang dan kumparan transformatornya dibelitkan pada dua sisi persegi. Sedangkan tipe cangkang dibentuk dari lapisan inti berisolasi dan kumparan transformatornya di belitkan di pusat inti. Transformator dengan tipe konstruksi cangkang memiliki kehandalan yang lebih tinggi dari pada tipe konstruksi inti dalam menghadapi tekanan mekanis yang kuat pada saat terjadi hubung singkat.



a. tipe inti

b. Tipe cangkang

Gambar 2.3 Inti Transformator

(Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/28720/3/Chapter%20II.pdf>)

### 2.4.3 Minyak Transformator

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

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

Kekuatan *dielektrik* didefinisikan sebagai tegangan maksimum yang dibutuhkan untuk mengakibatkan *dielectric breakdown* pada material yang dinyatakan dalam satuan Volt/m. Dimana kekuatan *dielektrik* adalah ukuran kemampuan *elektrik* suatu *material* sebagai *isolator*.

### 2.4.4 Bushing Transformator

Untuk tujuan keamanan, *konduktor* tegangan tinggi dilewatkan menerobos suatu bidang yang di bumikan melalui suatu lubang terbuka yang dibuat sekecil mungkin dan biasanya membutuhkan suatu pengikat padu yang disebut *bushing*.

Bagian utama suatu *bushing* terdiri dari inti atau konduktor, bahan *dielektrik* dan *flans* yang terbuat dari logam. Inti berfungsi untuk menyalurkan arus dari bagian dalam

peralatan ke terminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Dengan bantuan *flans, isolator* diikatkan pada badan peralatan yang di bumikan.

#### 2.4.5 Tipe Pendingin Transformator

Ada beberapa tipe pendingin pada transformator yaitu:

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.

2. ONAF ( *Oil Natural Air Force* )

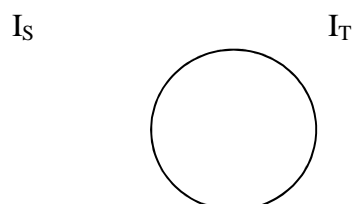
Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan *sirkulasi* udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik. Pada umumnya operasi trafo dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya sebagian kipas angin yang berputar. Apabila suhu trafo sudah semakin meningkat, maka kipas angin yang lainnya akan berputar secara bertahap.

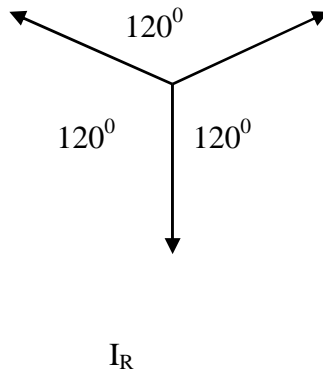
3. OFAF ( *Oil Force Air Force* )

Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin.

#### 2.5 Transformator 3 Fasa

Dalam trafo distribusi hubung tiga fasa seperti yang terlihat dalam gambar berikut, ada beberapa arus yang mengalir . Jadi arus yang terdapat pada trafo adalah arus yang mengalir dimasing-masing fasa (fasa R, fasa S dan fasa T).

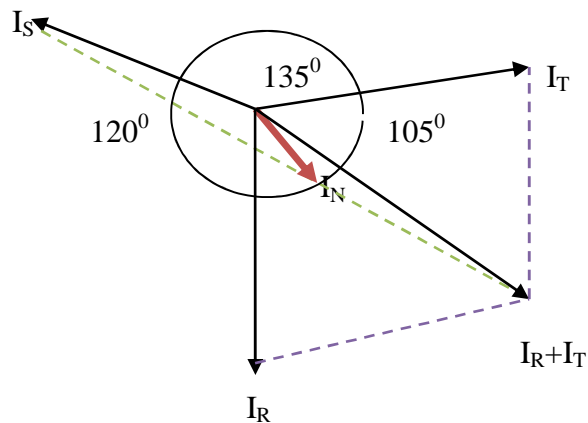




Gambar. 2.4 Vektor diagram arus seimbang  
(Sumber. Dahlan, 2009)

Gambar 2.3 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$ ) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral ( $I_N$ ) (Dahlan, 2009). Hal ini menunjukkan hukum *kirchoff* yaitu jumlah arus yang mengalir di semua sisi adalah nol.

Dengan melihat Gambar 2.4, maka arus yang mengalir pada trafo tiga fasa adalah  $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$  dan  $I_N$ . Arus  $I_R$  adalah arus yang mengalir pada fasa R yang biasa di tulis dengan a [I]. Arus  $I_S$  adalah arus yang mengalir pada fasa S yang bisa di tulis dengan b [I]. Arus  $I_T$  adalah arus yang mengalir pada fasa T yang biasa di tulis dengan c [I] (Sentosa, 2006). Arus  $I_N$  adalah arus yang mengalir di titik netral karena keadaan beban tidak seimbang pada transformator dan besarnya tergantung seberapa besar faktor ketidakseimbangannya (Watiningsih, 20012).



Gambar 2.5 Vektor diagram arus tidakseimbang  
(Sumber. Watiningsih, 2012)

Berdasarkan cara penghubungannya, transformato 3 fasa dapat dibedakan menjadi:

1. Transformator Hubung Bintang
2. Transformator Hubung *Delta*
3. Transformator Hubung *Zig-zag*

### 2.5.1 Transformator Hubung Bintang (Y)

Arus yang mengalir di  $I_A$ ,  $I_B$  dan  $I_C$  disebut dengan arus saluran ( $I_L$ ). Arus yang melewati  $I_{AN}$ ,  $I_{BN}$  dan  $I_{CN}$  disebut arus fasa ( $I_{PN}$ ) dimana N adalah titik netral yang merupakan titik temu salah satu ujung ketiga kumparan. Tegangan fasa adalah  $V_{AB}$ ,  $V_{BN}$ , dan  $V_{CN}$  yang masing-masing fasa berbeda fasa  $120^\circ$ . (Sulasno, 2009)

Pada hubung bintang terdapat titik netral dan saluran netral yang akan mengalir arus  $I_N$  yang besarnya adalah :

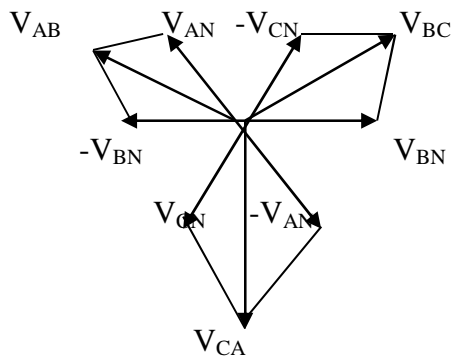
$$I_N = I_A + I_B + I_C \dots\dots\dots (2-4)$$

Dalam sistem yang seimbang  $I_N = 0$ , salurannya dapat diabaikan sedangkan tegangannya adalah :

$$V_{AB} = V_{AN} + V_{NB} = V_{AN} - V_{BN} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \dots\dots\dots (2-7)$$





Gambar 2.6 vektor tegangan

(Sumber. Sulasno, 2009)

Dari vektor diatas berlaku hubungan  $I_L = I_P$  dan  $V_{AB} = \sqrt{3} V_{AN}$  atau  $V_L = \sqrt{3} V_p$ .

Ketiga belitan trafo diatas identik, maka besarnya daya pada hubung bintang adalah :

$$S = 3 V_P I_P, \text{ karena } V_P = V_L / \sqrt{3} \text{ dan } I_P = I_L \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

$$S = 3 (V_L / \sqrt{3} I_L \text{ atau } S = \sqrt{3} V_L I_L$$

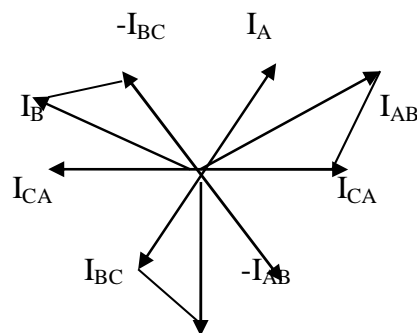
- $I_A = I_B = I_C = I_L$
- $I_L = I_{ph}$
- $V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$
- $V_{L-L} = V_{ph}$

Dimana :

- $V_{L-L}$  = tegangan line to line (volt)
- $V_{ph}$  = tegangan fasa (volt)
- $I_L$  = arus line (ampere)
- $I_{ph}$  = arus fasa (ampere)

**2.5.2 Transformator Hubung Delta ( )**

Transformator hubung segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu;  $V_A, V_B, V_C$  masing-masing berbeda  $120^\circ$ . (Sulasno, 2009)



$I_C$

Gambar 2.7 vektor arus hubung *delta*

(Sumber. Sulasno, 2009)

Dari diagram vektor diketahui arus  $I_A$  (arus jala-jala) adalah  $\sqrt{3} \times I_{AB}$  (arus fasa) atau  $I_L = \sqrt{3} I_P$ . Tegangan jala-jala dalam hubungan *delta* sama dengan tegangan fasanya dimana  $V_L = V_P$ .

Besarnya daya pada hubung *delta* adalah  $S = 3 V_P I_P = 3 V_L I_L / \sqrt{3}$  atau  $S = \sqrt{3} V_L I_L$ . Untuk beban tidak seimbang  $I_A = I_{AB} - I_{CA}$ ,  $I_B = I_{BC} - I_{AB}$ ,  $I_C = I_{CA} - I_{BC}$ , dimana  $V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0$

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{ph}$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{ph}$$

Dimana:

$V_{L-L}$  = tegangan *line to line* (Volt)

$V_{ph}$  = tegangan fasa (Volt)

$I_L$  = arus *line* (Ampere)

$I_{ph}$  = arus fasa (Ampere)

### 2.5.3 Transformator *Zig-zag*

Untuk sekilas pembahasan, transformator *zig-zag* merupakan transformator dengan tujuan khusus. Salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral untuk sistem listrik yang tidak memiliki titik netral. Pada transformator *zig-zag* masing-masing lilitan tiga fasa dibagi menjadi dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan. (Sulasno, 2009)

## 2.6 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu-gardu induk. Klasifikasi jaringan distribusi menurut strukturnya antara lain struktur jaringan radial, struktur jaringan *loop*, dan struktur jaringan *spindle*. (Bambang,dkk. 2009)

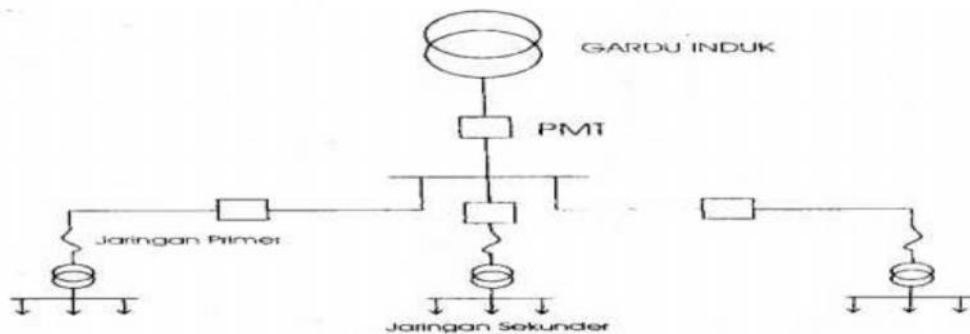
Sistem Distribusi suatu bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

- Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat konsumen.
- Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban konsumen dilayani langsung melalui jaringan distribusi. (Mahardikha,dkk. 2010)

Secara umum sistem distribusi dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

1. Gardu Induk Distribusi
2. Jaringan Primer
3. Transformator Distribusi
4. Jaringan Sekunder. (Mahardikha,dkk. 2010)

Gardu induk distribusi adalah gardu induk dimana terdapat transformator daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangana tinggi menjadi tegangan rendah. Jaringan primer adalah jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ketransformator dengan tegangan yang disalurkan adalah 20 kv. Jaringan tegangan rendah (jaringan sekunder) adalah jaringan yang menghubungkan transformator distribusi dengan konsumen, besar tegangan yang disalurkan adalah 380/220 V. (Watiningsih, 2012)



Gambar 2.8 Skema Sistem Jaringan Distribusi  
(Sumber. Watiningsih. 2012)

### 2.6.1 Jaringan Distribusi Menurut Besar Tegangan

Standar tegangan yang digunakan di Indonesia adalah:

- Untuk jaringan tegangan menengah: 20 KV 2 fase 3 kawat / 3 fase 4 kawat 11,55 KV fase tunggal 2 kawat.
- Untuk jaringan tegangan rendah 380 V 3 fase 4 kawat 220 V 1 fase 2 kawat. Untuk lama dengan tegangan menengah 6 KV dan tegangan rendah 110 V lambat laun akan dihapus, sedang sistem yang dikembangkan selanjutnya adalah 11,55 / 20 KV untuk jaringan tegangan menengah dan 220 / 440 V, 220 / 380 V untuk jaringan tegangan rendah. (Watiningsih. 2012)

### 2.6.2 Jaringan Distribusi Menurut Frekuensi

Frekuensi yang biasanya dipakai pada sistem tenaga listrik adalah 25 Hz, 50 Hz dan 60 Hz. Biasanya kebanyakan pada jaringan kereta api/*Tren* listrik menggunakan 25 Hz. Di bagian Eropa frekuensi listrik menggunakan 50 Hz. Untuk frekuensi 60 Hz banyak dipakai di Amerika Serikat dan Jepang dengan keuntungan dibanding dengan 50 Hz yaitu kecepatan *sinkron motor induksi* dengan 2 kutub : 3600 rpm untuk 60 Hz, sedang 3000 rpm untuk 50 Hz. Untuk tegangan dan kapasitas trafo yang sama, karena trafo 60 Hz lebih ringan dibanding trafo 50 Hz, sehingga material yang diperlukan lebih sedikit. diantaranya reaktansi induksi lebih kecil, dan reaktansi kapasitansi lebih besar, sehingga batas beban bertambah, rugi jaringan berkurang dan efisiensi lebih tinggi. Di Indonesia sendiri frekuensi yang digunakan ditetapkan 50 Hz. (Watiningsih, 2012)

### 2.6.3 Jaringan Distribusi Menurut Konstruksi

Berdasarkan dari segi konstruksi, jaringan distribusi dapat dibagi atas :

- Saluran Udara Tegangan Menengah ( SUTM )
- Saluran Kabel Bawah Tanah ( SKTM )

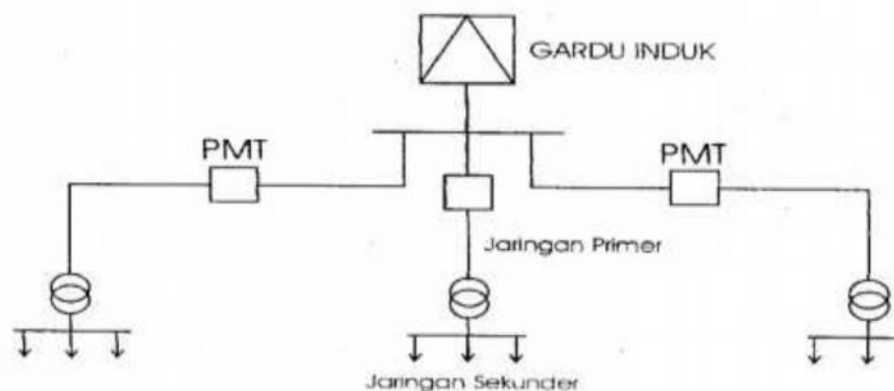
Saluran udara tegangan menengah banyak dipakai di kota-kota kecil atau kota besar yang bebanya kurang padat. Berdasarkan hal-hal diatas maka pemilihan tipe konstruksi yang cocok banyak tergantung pada kondisi dan permintaan konsumen, walaupun sebenarnya saluran udara bila ditinjau dari segi teknis lebih ekonomis, sedangkan saluran kabel bawah tanah lebih menguntungkan ditinjau dari segi kurangnya jumlah gangguan dan segi keindahan.(Watiningsih, 2012)

#### 2.6.4 Jaringan Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan

Pola jaringan distribusi primer pada suatu sistem distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang diperoleh dari sistem tersebut, khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya.

##### a. Sistem Radial

Sistem *radial* adalah konfigurasi jaringan primer dan setiap salurannya hanya mampu menyalurkan daya dari satu aliran daya. Sistem ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kepadatan beban rendah. Dengan keuntungannya adalah kesederhanaan dari segi teknis serta biaya awal pembuatan lebih murah. Sedangkan kelemahannya adalah kontinuitas pelayanan tidak dapat dijamin dan apabila terjadi gangguan ( terutama dekat dengan sumber ), maka semua beban akan ikut terganggu hingga dapat diatasi, berarti terputusnya pelayanan kepelanggan dan rugi daya dan tegangan juga tinggi.



Gambar 2.9 Jaringan Distribusi Sistem Radial

(Sumber. Watiningsih, 2012)

**b. Sistem Loop**

Sistem konfigurasi *loop* adalah jaringan yang dimulai dari satu titik pada rel daya dan dikelilingi beban kemudian kembali lagi ke titik rel daya semula. Jaringan konfigurasi biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kontinuitas dan pelayanan dengan baik ( lebih baik dari sistem *radial* ) serta banyak digunakan di daerah industri kecil dan daerah komersil. Karena sistemnya berbentuk *loop* maka sering dinamakan sistem cincin/gelang, dengan keuntungannya adalah gangguan akan dapat di lokalisir sekecil mungkin karena kedua ujung penyulang tersambung pada sumber sehingga pelayanan kontinuitas dapat dijamin . (Watiningsih, 2012)

**c. Sistem Grid (Network)**

Sistem *grid* adalah sistem yang mempunyai beberapa rel daya yang dihubungkan dengan saluran *tie feeder* dan setiap gardu distribusi dapat menerima daya dari satu atau ke rel lain. Keuntungan dari sistem *grid* ini adalah kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola *radial* maupun *loop*. Fleksibilitas dalam menghadapi/mengantisipasi perkembangan beban sesuai dengan kerapatan beban tinggi.(Watiningsih, 2012)

**d. Sistem Spindle**

Sistem distribusi dengan pola *spindel* merupakan pengembangan dari pola *radial* dan *loop* terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari satu gardu induk diarahkan menuju satu tempat yang disebut gardu hubung ( GH ), kemudian antara gardu induk dengan gardu hubung tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut *Feeder Express*.

Gardu Distribusi pada sistem ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Pada keadaan normal sistem ini bekerja secara *radial*, namun dalam keadaan darurat atau terjadi gangguan bekerja secara *loop*. Dengan keuntungannya sangat sederhana dalam hal teknis dalam pengoperasian secara radial dan kontinuitas lebih baik dari sistem *radial* atau *loop*. Pengecekan pada masing-masing beban lebih mudah di bandingkan dengan pola *grid*, dengan demikian peralatan pengamanan (*proteksi*) lebih sederhana dari pola *grid*, dan baik dipergunakan pada daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi. (Watiningsih. 2012)

**2.7 Daya Pada Saluran Distribusi**

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

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \dots\dots\dots (2-9)$$

Dimana :

P = daya pada ujung

V = tegangan pada ujung

cos = 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 tidaksetimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut:

$$[I_R] = a [I_{rata-rata}] \dots\dots\dots (2-10)$$

$$[I_S] = b [I_{rata-rata}] \dots\dots\dots (2-11)$$

$$[I_T] = c [I_{rata-rata}] \dots\dots\dots (2-12)$$

Dimana  $I_R$  ,  $I_S$  dan  $I_T$  berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T. (Ahmad, 2011)

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

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \dots\dots\dots (2-13)$$

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

$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai  $a = b = c = 1$ . (Dahlan, 2009)

## 2.8 Arus Beban Penuh

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

$$S = 3 V.I \dots\dots\dots (2-15)$$

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:

$$I_F = \frac{S}{3 \times V} \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana:

$I_F$  = arus beban penuh (A). (Ahmad, 2011)

## 2.9 Ketidakseimbangan Beban Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

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

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidakseimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

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



- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain. (Sentosa, dkk. 2006)

Ketidakseimbangan antara tiga fasa mengakibatkan arus mengalir pada kabel netral trafo. Karena pada kabel netral trafo mengalir arus, maka rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekunder akan makin meningkat. Kerugian yang terjadi akibat beban yang tidak seimbang akan berdampak besar pada pihak konsumen maupun pihak PLN. (Kawihing, dkk. 2013)

## 2.10 Rugi-rugi Daya Transformator

Pada dasarnya energi listrik yang dimasukkan ke transformator tidak sama dengan energi listrik yang dikeluarkan dari transformator tersebut. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi yaitu adanya arus yang hilang saat melewati trafo tersebut. Rugi-rugi daya dapat dibagi menjadi dua yaitu rugi inti ( $P_i$ ) dan rugi tembaga ( $P_{cu}$ ). Pada kondisi beban nol, rugi-rugi yang terjadi hanyalah rugi inti. Rugi inti tidak berpengaruh dengan adanya perubahan beban. Besarnya rugi inti dari beban nol sampai beban penuh nilainya sama, dengan asumsi tegangan *primer* tidak berubah atau konstan. (Ermawanto, 2013)

### 2.10.1 Rugi-rugi Inti (Besi)

Rugi-rugi inti ( $P_i$ ) dapat di golongkan kepada dua bagian yaitu rugi *histerisis* dan rugi *eddy current* (arus pusar). Jadi rugi inti dapat dituliskan dalam persamaan:

$$P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots (2-17)$$

Dimana :

$$P_i = \text{rugi inti (watt)}$$

$$P_h = \text{rugi } histerisis$$

$P_e$  = rugi *eddy current*

**1. Rugi Histerisis ( $P_h$ )**

Rugi *histerisis* adalah rugi yang disebabkan oleh *fluks* ( ) bolak-balik pada inti besi (Ermawanto, 2013). Pada besi yang mendapat *fluks* bolak-balik, rugi *histerisis* per *cycle* berbanding dengan luas lup (jerat) *histerisis* (Sulasno, 2009). Rugi *histerisis* dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^n \text{ (watt) } \dots\dots\dots (2-18)$$

Dimana:

$K_h$  = konstanta *histerisis*

$f$  = frekuensi (Hz)

$B_m$  = kerapatan *fluks* maksimum (*Tesla*)

**2. Rugi Eddy Current (Arus Pusar)**

Rugi ini disebabkan oleh arus yang terinduksi di inti. Adapun arus pusar ini ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan fluks magnetik. Pada dasarnya induksi tegangan di besi ini sama seperti pada transformator (dapat dianggap bahwa tiap lempeng besi adalah sekunder yang terhubung singkat), maka emf induksi di inti akan berbanding dengan *fluks* ( $e = 4,44 f n \Phi_m$ ).

Impedansi dari inti yang di aliri arus dapat dianggap konstan untuk laminasi yang tipis dan tidak tergantung pada frekuensi, untuk frekuensi rendah atau frekuensi daya listrik, jadi:

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 \text{ (watt) } \dots\dots\dots (2-19)$$

Dimana:

$P_e$  = rugi *eddy current*

$K_e$  = konstanta

Jadi rugi-rugi inti adalah:

$$P_f = P_h + P_e = K_h f B_m^n + K_e f^2 B_m^2 \dots\dots\dots (2-20)$$

Dimana :

$P_f$  = rugi total inti (watt). (Antonious, 2009)

### 2.10.2 Rugi-Rugi Tembaga ( $P_{cu}$ )

Rugi-rugi tembaga terjadi karena resistansi dalam belitan. Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga (Linsley, 2002). Rugi-rugi tembaga ini dapat di tuliskan dalam persamaaan sebagai berikut:

$$P_{cu} = I^2R \dots\dots\dots (2-21)$$

Dimana:

$P_{cu}$  = rugi-rugi tembaga

$I$  = arus (Ampere)

$R$  = tahanan (Ohm)

### 2.11 Rugi-rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). (Dahlan,2013)

Rugi-rugi pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2.R_N \dots\dots\dots (2-22)$$

Dimana:

$P_N$  = rugi netral penghantar trafo (watt)

$I_N$  = arus netral trafo (A)

$R_N$  = tahanan netral penghantar trafo (ohm)

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

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots\dots\dots (2-23)$$

Dimana:

$P_G$  = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

$I_G$  = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

$R_G$  = tahanan pembumian netral trafo (ohm)

Seperti diketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut.

Rugi – rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{Rugi daya nyata} = I^2 \cdot R \text{ Watt}$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 \cdot X \text{ Watt}$$

$$\text{Rugi daya semu} = (I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X). \text{ (Bambang, dkk. 2009)}$$

## 2.12 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar/bergerak umumnya antara 50-60% karena ada rugi gesek dan angin. Transformator tidak memiliki bagian yang bergerak/berputar, maka rugi-rugi ini tidak muncul (Linsley, 2002).

Transformator tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%. (Ermawanto, 2013)

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara matematis ditulis :

$$= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-24)$$

$$P_{in} = P_{out} + \text{Rugi-rugi} \dots\dots\dots (2-25)$$

Jadi :

$$= \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-26)$$

Dimana:

= efisiensi

$P_{out}$  = daya keluar (watt)

$P_{in}$  = daya masuk (watt).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

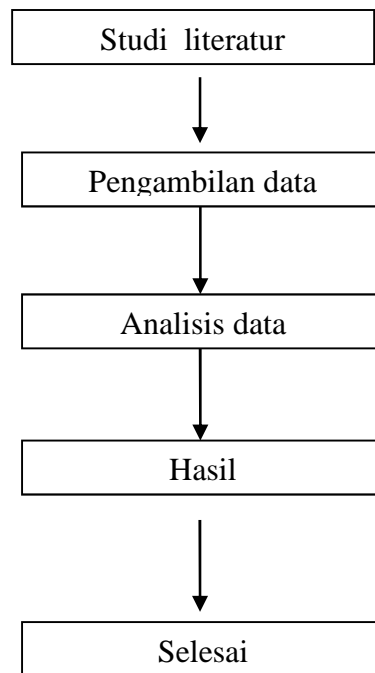
#### **3.1 Jenis Penelitian**

Dalam penelitian “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi”, penulis menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran dalam yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis

sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahapan penelitian

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian penelitian “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi” seperti yang dijelaskan dalam studi literatur (BAB II).

### 3.4 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengambilan data di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru. Pengambilan data dilakukan dengan cara meminta data yang sudah ada pada PT. PLN (Persero). Data diperoleh dengan mengikuti prosedur yang ada pada instansi tersebut yaitu dengan cara mengirimkan surat izin pengambilan data dari pihak Universitas. Seterusnya menunggu balasan dari pihak PLN, setelah surat balasan diperoleh baru dilakukan pengambilan data sesuai kebutuhan untuk penelitian. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

#### **3.4.1 Data Arus**

Data arus yang dibutuhkan adalah data arus yang mengalir dimasing-masing fasa (fasa R,S,T dan N). Data arus ini dibutuhkan untuk mengetahui besar arus rata-rata yang mengalir di fasa R, S dan T, sedangkan data arus netral di butuhkan untuk mengetahui besar rugi daya yang terjadi pada trafo distribusi. Hal ini merujuk gambar 2.4 yang menunjukkan adanya arus yang mengalir dimasing-masing fasa untuk keadaan beban tidak seimbang. Data arus ini dibutuhkan untuk menghitung besar rugi-rugi daya.

#### **3.4.2 Data Tegangan**

Tegangan yang terdapat pada trafo distribusi ini adalah tegangan yang mengalir dimasing- masing fasa dan tegangan kerja yang terdapat pada trafo. Data tegangan yang dibutuhkan adalah data tegangan kerja trafo. Data ini dibutuhkan untuk mengetahui berapa besar arus puncak dimana data ini dibutuhkan merujuk pada persamaan (2-16) yaitu :

$$I_F = \frac{S}{3 V}$$

#### **3.4.3 Data Tahanan atau Resistansi**

Dalam transformator distribusi terdapat beberapa tahanan yaitu tahanan masing-masing fasa, tahanan pada trafo itu sendiri dan tahanan di netral trafo. Data tahanan yang

dibutuhkan adalah tahanan yang terdapat pada trafo distribusi dimana data ini dibutuhkan sesuai dengan persamaan (2-21) yaitu:

$$P_{cu} = I^2 R$$

Dimana persamaan diatas adalah untuk menghitung rugi tembaga pada trafo. Data tahanan lain yang dibutuhkan adalah data tahanan yang mengalir di penghantar netral trafo dimana hal ini merujuk pada persamaan (2-22) yaitu:

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

#### **3.4.4 Data Daya *Input* dan Daya *Output***

Data daya *input* dan *output* dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan persamaan (2-24) dimana dalam persamaan ini jelas terlihat untuk mengetahui besar efisiensi harus diketahui besarnya daya *input* dan daya *output* yaitu:

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

### **3.5 Analisis Data**

Analisa data dilakukan setelah pengambilan data di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru. Data-data yang diperoleh diubah kedalam bentuk matematis dan dianalisis menggunakan persamaan yang telah ada. Dalam menganalisis data yang diperoleh, tidak menggunakan metode apapun, karena perhitungan yang digunakan adalah perhitungan biasa.

#### **3.5.1 Analisis Beban Puncak**

Analisa beban trafo dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu menggunakan persamaan (2-16). Persamaan ini adalah untuk mengetahui arus total yaitu



Setelah arus total di peroleh baru didapatkan persamaan untuk menghitung arus rata-rata, yaitu:

$$I_{rata} = \frac{I_{FL}}{3} \dots\dots\dots (3-1)$$

Setelah arus rata-rata diketahui , seterusnya perbandingan arus rata-rata dan arus total dikali 100 % untuk mengetahui berapa persen pembebanan yang terdapat pada trafo distribusi yang mana dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{I_{rata}}{I_{FL}} \times 100\% \dots\dots\dots (3-2)$$

**3.5.2 Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo**

Dengan menggunakan koefisien keseimbangan beban yaitu  $a = b = c = 1$ , maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban digunakan persamaan (2-10), (2-11) dan (2-12) sebagai berikut:

$$I_R = a \cdot I \text{ jadi } a = I_R / I_{rata-rata}$$

$$I_S = b \cdot I \text{ jadi } b = I_S / I_{rata-rata}$$

$$I_T = c \cdot I \text{ jadi } c = I_T / I_{rata-rata}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

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

**3.5.3 Analisis Rugi-rugi Daya**

Adanya arus yang mengalir di netral trafo mengakibatkan rugi-rugi daya. Besarnya rugi daya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-21) dan (2-22) . Setelah diketahui besar rugi daya, maka persentase rugi daya dapat dihitung dengan membandingkan rugi daya dengan daya trafo.

#### **3.5.4 Analisis Efisiensi**

Efisiensi adalah perbandingan antara daya masuk dan daya keluar. Analisis efisiensi perlu dilakukan supaya diketahui berapa daya yang hilang pada transformator distribusi. Perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan persamaan (2-24).

### **3.6 Hasil**

Hasil adalah penyelesaian dari permasalahan yang ada dalam penelitian ini. Permasalahan yang ada diselesaikan dengan cara matematis menggunakan persamaan yang sudah ada. Hasil penelitian ini berupa kesimpulan yang menunjukkan trafo distribusi pada PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru dalam keadaan seimbang atau tidak, efisiensi trafo dan berapa rugi-rugi daya pada trafo distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru.

## BAB IV

### ANALISIS DAN HASIL

#### 4.1 Analisis

Dalam menganalisis data yang telah didapat dari PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru ini dilakukan secara perhitungan manual karena persamaan matematis yang digunakan hanya persamaan biasa yang bisa diselesaikan dengan cara manual tanpa menggunakan metode tertentu.

Data Transformator

Merek trafo : Trafindo

Daya : 160 kVA

Kabel optik masuk : BC 3x150 mm<sup>2</sup> dengan tahanan R = 2,0526 /Km

Kabel optik keluar : BC 4x70 mm<sup>2</sup> dengan tahanan R = 0, 5049 /Km

Cos : 0,85

Tabel 4.1 Pengukuran Trafo

pengukuran siang hari	Pengukuran malam hari
arus fasa R : 100 A	arus fasa R : 100 A
arus fasa S : 60 A	arus fasa S : 63 A
Arus fasa T : 38 A	Arus fasa T : 42 A
Arus fasa N : 50 A	Arus fasa N : 56 A
Tegangan fasa RS :390 V	Tegangan fasa RS :400 V
Tegangan fasa RT : 390 V	Tegangan fasa RT : 400 V
Tegangan fasa ST : 390 V	Tegangan fasa ST : 400 V

Dari tabel diatas dapat terlihat ketidakseimbangan beban yang terjadi dimasing-masing fasa, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi di Pekanbaru khususnya Rayon Panam. Dimana dari tabel terlihat bahwa pemakaian listrik lebih banyak terjadi malam hari dibandingkan siang hari.

#### 4.1.1 Analisis Beban Puncak

Dalam analisis beban ini perlu diketahui terlebih dahulu arus beban penuh dengan menggunakan persamaan (2-25) yaitu:

$$I_F = \frac{S}{3 \times V}$$

$$I_F = \frac{160.000}{3 \times 390} = \frac{160.000}{675,5} = 236,86 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{100 + 60 + 38}{3} = 66 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{100 + 63 + 42}{3} = 68,33 \text{ A}$$

Jadi persentase beban adalah:

##### a. Beban Pada Siang Hari

$$\frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_F} \times 100 \% = \frac{66}{236,86} \times 100 \% = 27,8 \%$$

**b. Beban Pada Malam Hari**

$$\frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_F} \times 100 \% = \frac{68,33}{236,86} \times 100 \% = 28,84 \%$$

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beban puncak terjadi pada malam hari yaitu 28,84 %.

**4.1.2 Analisis Ketidakseimbangan Beban**

Dari data diatas dapat dilihat bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang. Besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-19), (2-20) dan (2-21) yaitu:

$$I_R = a \cdot I \quad \text{jadi} \quad a = I_R / I_{\text{rata-rata}}$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{jadi} \quad b = I_S / I_{\text{rata-rata}}$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{jadi} \quad c = I_T / I_{\text{rata-rata}}$$

**a. Ketidakseimbangan Beban Siang Hari**

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{100}{66} = 1,51$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{60}{66} = 0,9$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{38}{66} = 0,57$$

$$\text{Rata-rata ketidakseimbangan} = \frac{a + b + c}{3} = \frac{1,51 + 0,9 + 0,57}{3} = 0,99$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban adalah:

$$\begin{aligned}
 & \{ a-1 + b-1 + c-1 \} \\
 = & \frac{\hspace{10em}}{3} \times 100 \% \\
 & \{ 1,51-1 + 0,9-1 + 0,57-1 \} \\
 = & \frac{\hspace{10em}}{3} \times 100\% = 34,66\%
 \end{aligned}$$

**b. Ketidakseimbangan Beban Malam Hari**

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{100}{68,33} = 1,46$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{63}{68,33} = 0,92$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{42}{68,33} = 0,61$$

$$\text{Rata-rata ketidakseimbangan} = \frac{a + b + c}{3} = \frac{1,46 + 0,92 + 0,61}{3} = 2,99$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban adalah:

$$\begin{aligned}
 & \{ a-1 + b-1 + c-1 \} \\
 = & \frac{\hspace{10em}}{3} \times 100 \%
 \end{aligned}$$

$$= \frac{\{ 1,46 - 1 + 0,92 - 1 + 0,61 - 1 \}}{3} \times 100\% = 31 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas terlihat bahwa rata-rata ketidakseimbangan lebih besar terjadi malam hari dibandingkan siang hari yaitu sebesar 2,99.

#### 4.1.3 Analisis Rugi-rugi Daya

Besar rugi daya yang terjadi pada trafo ini akibat arus yang mengalir di netral trafo adalah:

##### a. Pada Siang Hari

$$P_N = I_N^2 R_N$$

$$P_N = 50^2 \cdot 0,5049 = 1262,25 \text{ Watt} = 1,262 \text{ KW}$$

Daya aktif trafo adalah:

$$P = S \cos \phi = 160 \cdot 0,85 = 136 \text{ KW}$$

Jadi persentase rugi-rugi daya akibat daya yang mengalir di netral trafo adalah:

$$\frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1262,25}{136000} \times 100\% = 0,92\%$$

##### b. Pada Malam Hari

$$P_N = I_N^2 R_N$$

$$P_N = 56^2 \cdot 0,5049 = 1583,366 \text{ Watt} = 1,583 \text{ KW}$$

Jadi persentase rugi daya pada malam hari adalah:

$$\frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1583,366}{136000} \times 100\% = 1,16\%$$

Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya diatas, dapat diketahui semakin besar ketidakseimbangan beban yang terjadi maka akan semakin besar rugi daya pada trafo.

#### 4.1.4 Analisis Efisiensi

Untuk mengetahui besar efisiensi adalah dengan menggunakan persamaan (2-33) yaitu:

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

##### a. Pada Siang Hari

$$\begin{aligned} P_{out} &= (a+b+c) V.I \cos \\ &= (1,51+0,9+0,57) 390. 66.0,85 \\ &= 33038,76 \text{ Watt} = 33,038 \text{ KW} \end{aligned}$$

Jadi efisiensi pada siang hari adalah:

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{33,038 \text{ KW}}{33,038 \text{ KW} + 1,262 \text{ KW}} \times 100\% = \frac{33,038 \text{ KW}}{34,3 \text{ KW}} \times 100\% = 96\% \end{aligned}$$



**b. Pada Malam Hari**

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= (a+b+c) V.I \cos \\ &= (1,46+0,92+0,61) 400. 68,33. 0,85 \\ &= 69464,278 \text{ Watt} = 69,464 \text{ KW} \end{aligned}$$

Jadi efisiensi pada malam hari adalah:

$$\begin{aligned} & \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ & \frac{69,646 \text{ KW}}{69,646 \text{ KW} + 1,583 \text{ KW}} \times 100\% \\ & \frac{P_{\text{out}} + \text{rugi daya}}{69,464 \text{ KW} + 1,583 \text{ KW}} \times 100\% = \frac{69,464 \text{ KW}}{71,047 \text{ KW}} \times 100\% = 97,7\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan efisiensi diatas, dapat diketahui untuk memperoleh nilai efisiensi yang besar maka harus diusahakan rugi-rugi yang terjadi kecil. Pada penelitian ini efisiensi yang besar terjadi pada malam hari

**4.2 Hasil**

Dari analisis yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa trafo yang ada di Pekanbaru khususnya pada Rayon Panam dalam keadaan tidak seimbang. Hal ini dapat diketahui berdasarkan hasil pengukuran arus pada masing-masing fasa, dimana seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa jika arus yang mengalir di masing-masing fasa berbeda maka beban dalam keadaan tidak seimbang. Hal ini merujuk pada tabel 4.1 dimana arus yang mengalir di masing-masing fasa berbeda.

Dari analisis yang dilakukan didapatkan hasil seperti yang terlihat dalam tabel berikut ini:

Tabel 4.2 Beban

Waktu	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	$I_{rata-rata}$ (A)	Persestase (%)
Siang hari	100	60	38	66	27,8
Malam hari	100	63	42	68,33	28,84

Dari tabel 4.2 menunjukkan bahwa arus yang mengalir di fasa R, S dan T berbeda baik itu siang hari dan malam hari. Berdasarkan ini dapat dikatakan bahwa beban trafo dalam keadaan tidak seimbang dan ketidakseimbangan lebih besar terjadi pada malam hari. Beban puncak terjadi pada malam hari yaitu sebesar 28,84%.

Tabel 4.3 Ketidakseimbangan Beban

Waktu	a	b	c	Ketidakseimbangan rata-rata	Persestase (%)
Siang hari	1,51	0,9	0,57	0,99	34,66
Malam hari	1,46	0,92	0,61	2,99	31

Dari tabel 4.3 menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban rata-rata terjadi pada malam hari sebesar 2,99 dan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 34,66%.

Tabel 4.4 Rugi-rugi Daya

Waktu	$R_N$ ( )	$I_N$ (A)	$P_N$ (KW)	Persestase (%)
Siang hari	0,5049	50	1,262	0,92
Malam hari	0,5049	56	1,583	1,16

Dari tabel 4.4 terlihat bahwa rugi-rugi daya lebih besar terjadi pada malam hari yaitu 1,583 KW. Hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari dan ketidakseimbangan beban juga lebih besar terjadi pada malam hari sehingga menyebabkan arus mengalir di penghantar netral trafo lebih besar. Jadi dapat dikatakan

bahwa semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral trafo akan menyebabkan semakin besar rugi daya dan semakin besar pula persentase rugi-rugi daya.

Tabel 4.5 Efisiensi

Waktu	$P_{in}$ (KW)	$P_{out}$ (KW)	Efisiensi (%)
Siang hari	34,3	33,038	96
Malam hari	71,047	69,464	97,7

Dari tabel 4.5 terlihat bahwa efisiensi trafo lebih besar pada malam hari yaitu sebesar 97,7%. Hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari. Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar pemakaian beban listrik maka akan semakin besar efisiensi trafo dan semakin kecil rugi daya akan semakin besar efisiensi trafo.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Trafo distribusi yang terdapat di Pekanbaru khususnya Rayon Panam dalam keadaan Tidak seimbang karena arus yang mengalir dimasing-masing fasa berbeda. Hal ini merujuk pada tabel 4.1 yang mana arus yang mengalir di masing-masing fasa berbeda.
2. Beban puncak terjadi pada malam hari dimana persentase beban adalah 28,84%.
3. Ketidakseimbangan beban lebih besar terjadi pada siang hari, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.3 yang mana semakin besar ketidakseimbangan beban maka akan semakin besar pula persentase ketidakseimbangan beban tersebut, dimana pada trafo ini persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari adalah 34,66 %.
4. Rugi-rugi daya yang terjadi pada trafo distribusi akan semakin besar apabila arus yang mengalir di penghantar netral trafo semakin besar dan sebaliknya.
5. Rugi-rugi daya lebih besar terjadi pada malam hari dibandingkan pada siang hari yaitu sebesar 1,583KW dan 1,16 %.
6. Efisiensi transformator distribusi ini cukup besar yaitu 97,7% pada malam hari. Efisiensi akan semakin besar apabila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar atau efisiensi akan besar apabila rugi-rugi daya semakin kecil.

#### 5.2 Saran

1. Diharapkan dalam perencanaan pembangunan transformator distribusi agar memperhatikan pemasangan beban agar didapatkan keseimbangan beban dimana jika beban dalam keadaan seimbang arus yang mengalir di netral trafo semakin kecil dan sebaliknya apabila ketidakseimbangan beban semakin besar maka akan semakin besar pula arus yang mengalir di netral trafo yang mengakibatkan semakin besar pula rugi daya (*losses*).

2. Bagi yang ingin meneruskan penelitian ini diharapkan agar peneliti bisa memberikan cara untuk mengatasi supaya ketidakseimbangan beban tidak terjadi ataupun ketidakseimbangan beban dapat diminimalisir.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung Aprianto, dkk. 2010, “Pemeliharaan Trafo Distribusi”, [Online], [http://www.elektro.undip.ac.id/el\\_kpta/wpcontent/uploads/2012/05/L2F607003\\_MKP.pdf](http://www.elektro.undip.ac.id/el_kpta/wpcontent/uploads/2012/05/L2F607003_MKP.pdf) (diakses 08 juni 2013)
- Ahmad Deni Mulyadi, 2011, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Rugi Daya Saluran Netral Jaringan Distribusi Tegangan Rendah”, [Online], <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&ved=0CGkQFjAH&url=http%3A%2F%2Fjurnal.polban.ac.id%2Findex.php%2Fmesin%2Farticle%2Fdownload%2F23%2F20&ei=zyPiUbnqEMfUrQei5ICgDw&usg=AFQjCNGtaM1Xq3JtfMLbIDokfrwSHliIsg&bvm=bv.48705608,d.bmk> (diakses 05 juni 2013)
- Antonius Ibi Weking, 2009, “Pengembangan Analisis Aliran Daya Dengan Memperhitungkan Pengaruh Kualitas Energi Listrik”, [Online], <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=analisis%20ketidakseimbangan%20beban%20listrik&source=web&cd=8&cad=rja&ved=0CGkQFjAH&url=http%3A%2F%2Ffojs.unud.ac.id%2Findex.php%2FJTE%2Farticle%2Fdownload%2F1584%2Fpdf&ei=NofjUae2EITmrAfO04GoDw&usg=AFQjCNGnlYq8zou0lh15tHWl8rEttzkx5A&bvm=bv.48705608,d.bmk> (diakses 8 juni 2013)
- Aprilian P. Kawihing, dkk. 2013, “Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder” [online], [ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/920/736](http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/920/736). (diakses 16 april 2013)
- Bambang Winardi, dkk. 2009, “perhitungan Dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Rugi-rugi Daya (Studi Kasus Pada PT. PLN UPJ SLAWI”, [Online], [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fejournal.undip.ac.id%2Findex.php%2Ftransmisi%2Farticle%2Fdownload%2F3731%2F3419&ei=zyPiUbnqEMfUrQei5ICgDw&usg=AFQjCNGIVhh2nd\\_c2bM88Bv5EaJPF5x5zQ&bvm=bv.48705608,d.bmk](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fejournal.undip.ac.id%2Findex.php%2Ftransmisi%2Farticle%2Fdownload%2F3731%2F3419&ei=zyPiUbnqEMfUrQei5ICgDw&usg=AFQjCNGIVhh2nd_c2bM88Bv5EaJPF5x5zQ&bvm=bv.48705608,d.bmk) (diakses 04 juni 2013)
- Dimas Mahardhika, dkk. 2010, “Pengembangan Trafo Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban Tahun 2012 – 2016 di UPJ Batang”, [online], [ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/article/download/3605/pdf](http://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/article/download/3605/pdf). (diakses 1 mei 2013)
- Ermawanto, “Analisa Berlangganan Listrik Antara Tegangan Menengah (TM) Dengan Tegangan Rendah (TR) dan Analisa Efisiensi Trafo Dalam Rangka Konservasi Energi Kampus UNDIP Tembalang”, [online], <http://eprints.undip.ac.id/25715/1/ML2F001595.pdf>. (diakses 05 april 2013)

- I Wayan Sudiartha, 2012, “Optimalisasi Pembebanan Transformator Daya di Gardu Induk Gianyar”, [online], [http://p3m.pnb.ac.id/dokument/jurnal/1336100689\\_Sudirtha.pdf](http://p3m.pnb.ac.id/dokument/jurnal/1336100689_Sudirtha.pdf). (diakses 05 april 2013)
- Moh. Dahlan, 2009, “Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi”, [online], [http://eprints.umk.ac.id/77/1/AKIBAT\\_KETIDAKSEIMBANGAN\\_BEBAN\\_TERHADAP.pdf](http://eprints.umk.ac.id/77/1/AKIBAT_KETIDAKSEIMBANGAN_BEBAN_TERHADAP.pdf). (diakses 11 april 2013)
- Sentosa, dkk. 2006, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi”, PT. PLN (persero), Surabaya, [online], [puslit.petra.ac.id/journals/request.php?PublishedID=ELK07070202](http://puslit.petra.ac.id/journals/request.php?PublishedID=ELK07070202) (diakses 11 april 2013)
- Sulasno, 2009, “Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan”, Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Trevor linsley, 2002 “Instalasi Listrik Tingkat Lanjut”, edisi ketiga, Jakarta, Erlangga.
- Tri Watiningsih, 2012, “pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi”, [online], <http://ejournal.unwiku.ac.id/index.php/jte/article/download/169/48>. (diakses 16 april 2013)
- Tri Watiningsih, 2012, “ Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah”, [online], [e-journal.unwiku.ac.id/index.php/jte/article/download/172/46](http://ejournal.unwiku.ac.id/index.php/jte/article/download/172/46). (diakses 1 mei 2013)
- Universitas Sumatra Utara, 2013, [online], <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/28720/3/Chapter%20II.pdf>. (diakses 1 mei 2013)