

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
ARUS NETRAL DAN RUGI DAYA PADA TRAFODAYA**

PLN GARDU INDUK BULUKUMBA



MIMIN ROI MARLING

10582107912

MUHAMMAD MUJAHIDIN

10582103912

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2018

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
ARUS NETRAL DAN RUGI DAYA PADA TRAFODAYA
PLN GARDU INDUK BULUKUMBA**



SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Strata Satu (S1)
Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro

Oleh :

MIMIN ROI MARLING

10582107912

MUHAMMAD MUJAHIDIN

10582103912

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2018



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Mimin Roi marling dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1079 12 dan Muhammad Mujahidin dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1039 12 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor :0002/SK-Y/20201/091004/2018, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 12 Februari 2018.

Panitia Ujian :

Makassar, 26 Jumadil Awal 1439 H
12 Februari 2018 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

b. Sekretaris : Mutmainnah, ST.,MT

3. Anggota : 1. Andi Fajaruddin, ST.,MT

2. Suriyani, ST.,MT

3. Andi Abd Halik Lateko, ST.,MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Ir. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Sc. M.Eng

Pembimbing II

Ir. Abdul Hafid, M.T

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.
NBM. 855 500



FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI DAYA PADA TRAFO DAYA PLN GARDU INDUK BULUKUMBA**

Nama : 1. Mimin Roi Marling
2. Muhammad Mujahidin

Stambuk : 1. 10582107912
2. 10582103912

Makassar, 12 Februari 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Dr. Ir. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Sc. M.Eng

Pembimbing II

Ir. Abdul Hafid, M.T



Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

NBM : 990 410

Mimin Roi Marling
1058207912
Muhammad Mujahidin
10582103912
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik
Email : ahmadalutsaimin@gmail.com

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan menengah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa terjadi ketidakseimbangan beban pada siang hari berkisar 2,67%, arus netral yang muncul 2,38 A dan presentase *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah adalah 0,0011%

Kata kunci: ketidakseimbangan beban, arus netral, *losses*.

Mimin Roi Marling
1058207912
Muhammad Mujahidin
10582103912
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik
Email : ahmadalutsaimin@gmail.com

ABSTRACT

The unbalanced load in electric power distribution system always happen and it is caused by single phase loads on low voltage system. 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 and losses caused by neutral current flows to ground. In conclusion, when high unbalanced load happened 2,67% then the neutral current that appear is also high 2,38 A, ultimately the losses that caused by the neutral current flows to ground will be high too 0,0011%

Keywords: unbalanced load, neutral current, losses.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir ini adalah :”*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Trafo Daya di PT PLN (PERSERO) TRAGI BULUKUMBA*”.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan, sebab itu penulis sebagai manusia biasa tidak lupuk dari kesalahan dan kekurangan baik dari segi teknik penulisan maupun dari segi perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan lapang dada atas segala koreksi serta perbaikan guna menyempurnakan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat buat kita semua.

Skripsi ini dapat terwujud atas berkat bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam materi menyelesaikan kuliah.

2. Bapak Hamzah Al Imran, ST, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Umar Katu, ST, MT. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. H Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Abd. Hafid, ST, MT. selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam bimbingan kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar atas segala waktunya yang telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar terkhusus angkatan 2012 yang dengan keakraban dan persaudaran banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, Masyarakat serta bangsa dan Negara. Aamiin.

Makassar, 20 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
3.1 Transformator	4
2.1.1 Pengertian Transformator	4
2.1.2 Kontruksi Bagian – Bagian Transformator Daya	6
2.1.3 Minyak Transformator	10
2.1.4 Mekanisme Ketembusan Isolasi Cair	11
2.1.5 Sifat – sifat Listrik Cairan Isolasi	12

2.1.6 Pendingin	13
3.2 Hukum Dasar Faraday.....	14
2.2.1 Hukum Induksi Faraday.....	14
2.2.2 Daya pada Saluran Distribusi	18
2.2.3 Prinsip Kerja	19
2.2.4 Transformator Ideal.....	22
2.2.5 Rangkaian Ekuivalen Transformator	24
2.2.6 Kontruksi Transformator.....	28
2.3 Daya Aktif, Reaktif dan Nyata Pada Transformator	30
2.3.1 Daya Aktif (Daya Rata – Rata).....	31
2.3.2 Daya Reaktif	31
2.3.3 Daya Nyata	33
2.4 Cos Phi Meter.....	34
2.4.1 Definisi Cos Phi Meter	35
2.4.2 Teknik Pengukuran dengan Cos Phi Meter	36
2.4.3 Prinsip kerja Cos Phi Meter	36

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian	38
3.2 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan	38
3.3 Metode Pengumpulan Data	38
3.3.1 Data Primer	38
3.3.2 Data Sekunder	38
3.4 Objek Penelitian	39

3.5 Metode Pengumpulan Data	39
3.6 Sumber Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Transformator Daya.....	40
4.2 Analisis Beban Puncak Transformator.....	40
4.2.1 Hari Pertama (Minggu 3 Desember 2017) Siang	41
4.2.2 Hari Pertama (Minggu 3 Desember 2017) Malam.....	43
4.3 Hasil	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 2.1 Vektor Diagram Arus	17
Gambar 2.2 Prinsip Dasar Dari Transformator	19
Gambar 2.3 Suatu Arus Listrik Mengelilingi Inti Besi Maka Menjadi Magnet	21
Gambar 2.4 Suatu Lilitan Mengelilingi Magnet Maka Akan Timbul Gaya Gerak Listrik.....	21
Gambar 2.5 Transformator Ideal.....	22
Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen Transformator.....	25
Gambar 2.7 Vektor Diagram Rangkaian Pengganti	25
Gambar 2.8 Rangkaian Pengganti Dilihat dari isi Primer	26
Gambar 2.9 Parameter Sekunder Pada Rangkaian Primer	27
Gambar 2.10 Hasil Akhir Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Transformator	27
Gambar 2.11 Vektor Diagram Rangkaian Pengganti	28
Gambar 2.12 Konstruksi Transformator “ <i>Core Form</i> ”.....	29
Gambar 2.13 Konstruksi Transformator “ <i>Shell Form</i> ”	30
Gambar 2.14 Penjumlahan Trigonometri Daya Aktif, Reaktif dan Semu	32
Gambar 2.15 Hubungan Bintang	33

Gambar 2.16 Hubungan Delta	34
Gambar 2.17 Cosphimeter	35

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 4.1 Fasa R, S dan T	41
Tabel 4.2 Hasil pengukuran siang	42
Tabel 4.3 Fasa R, S dan T	44
Tabel 4.4 Hasil pengukuran malam	45
Tabel 4.5 Beban Transformator	47
Tabel 4.6 Ketidakseimbangan Beban.....	48
Tabel 4.7 <i>Losses</i> Akibat adanya Arus Netral	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Balasan Surat Penelitian
Lampiran 2	Laporan Harian Gardu Induk Bulukumba
Lampiran 3	Laporan Beban Puncak Trafo dan Transmisi Mingguan Tragi Bulukumba
Lampiran 4	Single Line Diagram Sistem Sulserabar Tragi GI Bulukumba.....
Lampiran 5	Diagram Plate Transformator 20 Mva.....
Lampiran 6	Dokumentasi.....
Gambar 1.	Unit pelayanan Transmisi UPT Sulsebar Transmisi dan Gardu Induk Bulukumba
Gambar 2.	Transfrmator 20MVA GI Bulukumba.....
Gambar 3.	Pengukuran I_N (Arus Netral)
Gambar 4.	Interview Sebagai Pembanding antara Kejadian dilapangan dan Sumber Data di Tragi Bulukumba

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, kebutuhan tenaga listrik merupakan kebutuhan utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industry. Hal ini disebabkan oleh karena tenaga listrik mudah untuk transportasikan atau dikonversikan dalam bentuk tenaga lain dengan menggunakan transformator. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi oleh pihak PT. PLN dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Transformator memiliki peranan penting dalam sistem kelistrikan. Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet.

Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam penyaluran daya listrik jarak jauh. Transformator “*step up*” yaitu untuk menaikkan tegangan, dan ada yang berfungsi sebagai transformator “*step down*” adalah untuk menurunkan tegangan pada gardu induk (*industry primer*). Misalnya tegangan diturunkan dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV, sehingga tenaga listrik dapat disalurkan ke konsumen melalui transformator distribusi.

Dalam penyaluran tenaga listrik sering terjadi pemakaian oleh konsumen secara bersamaan pada waktu tertentu dan adanya penambahan daya listrik oleh konsumen, sehingga mengakibatkan peningkatan permintaan suplai tenaga listrik atau disebut beban puncak (*peak supplies*). Beban puncak terjadi baik pada malam hari maupun siang hari pada waktu tertentu.

Ketidak seimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidak seimbangan tersebut adalah beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka adapun rumusan masalah yang diangkat sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral.
2. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap *losses* pada trafo daya.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini kami hanya membatasi ruang lingkup :

1. Untuk menganalisis pengaruh ketidak seimbangan beban terhadap arus netral.
2. Untuk menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap *losses* pada trafo daya.

3. Pengukuran ini hanya dilakukan 1 hari sehingga hari-hari yang lain tidak diolah datanya dan pendekatan memilih I_R, I_S, I_T yaitu arus tertinggi Siang dan malam.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut ;

1. Untuk mengetahui kondisi transformator akibat ketidakseimbangan beban pada transformator daya terhadap arus, tegangan, daya dan efisiensi PT. PLN GI (Gardu Induk) Bulukumba.
2. Untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya dan efisiensi yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada transformator daya di PT. PLN GI (Gardu Induk) Bulukumba.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini dapat dipergunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan pengoperasian transformator tenaga dan suhu isolasi dan transformator tenaga pada GI Unit Tragi Bulukumba PT. PLN (Persero) untuk mengatasi gangguan dan kerusakan pada transformator tenaga.
2. Untuk memperdalam pengetahuan tentang transformator secara rinci yang dilengkapi dengan analisis secara teknis.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Transformator

2.1.1 Pengertian Transformator

Transformator atau lebih dikenal dengan nama “transformer” atau “trafo” sejatinya adalah suatu peralatan listrik yang mengubah daya listrik AC pada satu level tegangan lain berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa merubah frekuensinya. Transformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi. Transformator berdiri dari dua atau lebih kumparan yang membungkus inti besi feromagnetik. Kumparan-kumparan tersebut biasanya satu sama lain tidak dihubungkan secara langsung. Kumparan yang satu dihubungkan dengan sumber listrik AC (*kumparan primer*) dan kumparan yang lain menyuplai listrik ke beban (*kumparan sekunder*).

Transformator hanya bekerja pada sumber listrik arus bolak – balik jadi jika disuplai oleh sumber arus tegangan searah, misalnya baterai, transformator tidak akan bekerja. (linsley, 2004).

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke ketegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Dalam operasi umumnya, trafo – trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai

dengan kebutuhan untuk sistem penggunaan proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung disisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan disisi netral 20 kV.

Sebagaimana dikemukakan linsley (2004) dengan meningkatkan kemampuan daya suatu transformator, maka masalah yang muncul bagaimana mengantisipasi panas yang dibangkitkan oleh inti transformator secara aman dan efektif, solusi yang umum digunakan ialah dengan menempatkan transformator dalam suatu wadah yang mengandung bahan isolasi minyak yang melingkupi inti dan belitan secara menyeluruh. Minyak ini berfungsi ganda, sebagai pendingin sekaligus media isolasi untuk inti transformator.

Kemampuan daya transformator ditingkatkan dalam rangka melayani beban puncak, maka yang perlu diperhatikan adalah keandalan minyak trafo, untuk menghindari panas yang berlebihan akibat arus yang mengalir pada inti.

Penggunaan yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu yang sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitkan dan penyaluran tenaga listrik.

Transformator dapat dibagi menurut fungsi/pemakaian seperti :

- a. Transformator mesin (Pembangkit)
- b. Transformator Gardu Induk
- c. Transformator Distribusi

Penggunaan transformator pada sistem penyaluran tenaga listrik dapat dibagi tiga :

- a. Trafo penaik tegangan (*step up*) atau disebut trafo daya, untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi transmisi.
- b. Trafo penurun tegangan (*step down*), dapat disebut trafo distribusi, untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- c. Trafo instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, dipakai menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

2.1.2 Konstruksi Bagian - Bagian Transformator Daya

Konstruksi transformator terdiri dari dua bagian, yaitu peralatan utama dan peralatan bantu.

a. Peralatan utama transformator daya terdiri dari :

1) Kumparan trafo

Kumparan trafo terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi (karton, pertinax) mengisolasi baik terhadap inti besi maupun kumparan lain.

2) Inti besi

Dibuat dari lempengan – lempengan feromagnetik tipis yang berguna untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan.

3) Minyak trafo

Sebagian besar trafo tenaga kumparan – kumparan dan intinya direndam dalam minyak trafo, terutama trafo – trafo tenaga yang berkapasitas besar.

4) Bushing

Sebuah konduktor (*porcelain*) yang menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar.

5) Tangki dan konservator (khusus untuk transformator basah)

Pada umumnya bagian – bagian dari trafo yang terendam minyak trafo ditempatkan didalam tangki baja. Tangki trafo – trafo distribusi umumnya dilengkapi dengan sirip – sirip pendingin (*cooling fin*) yang berfungsi memperluas permukaan dinding tangki, sehingga penyaluran panas minyak pada saat konveksi menjadi semakin baik dan efektif untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

b. Peralatan bantu transformator terdiri dari :

- 1) Peralatan pendingin yaitu pada inti besi dan kumparan – kumparan akan timbul panas akibat rugi – rugi besi dan rugi – rugi tembaga.
- 2) Tap Changer yaitu suatu alat yang berfungsi untuk merubah kedudukan tap (sadapan) dengan maksud mendapatkan tegangan keluaran yang stabil walaupun beban berubah – ubah.
- 3) Peralatan proteksi yaitu peralatan yang mengamankan trafo terhadap bahaya fisis, listrik maupun kimiawi.

Yang termasuk peralatan proteksi transformator antara lain sebagai berikut :

- a) Relai Buchols adalah peralatan relai yang dapat mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan didalam trafo yang menimbulkan gas.
- b) Relai tekanan lebih adalah peralatan relai yang dapat mendeteksi gangguan pada transformator bila terjadi kenaikan tekanan gas secara tiba – tiba dan langsung mentriapkan CB pada sisi upstream.
- c) Relai deferensial adalah relai yang dapat mendeteksi terhadap gangguan transformator apabila terjadi *flash over* antara kumparan dengan kumparan, kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan didalam kumparan ataupun antar kumparan.
- d) Relai beban lebih adalah relai ini berfungsi untuk mengamankan trafo terhadap beban yang berlebihan dengan menggunakan sirkit simulator yang dapat mendeteksi lilitan trafo yang kemudian apabila terjadi gangguan akan menyembunyikan alarm pada tahap pertama dan kemudian akan menjatuhkan PMT.
- e) Relai arus lebih adalah relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubungan singkat antara antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman trafo, juga diharapkan relai ini mempunyai sifat komplementer dengan relai beban lebih.

- f) Relai fluks lebih adalah relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator dengan mendeteksi besaran fluksi atau perbandingan tegangan dan frekwansi.
- g) Relai tangki tanah adalah relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator bila terjadi hubungan singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada transformator.
- h) Relai gangguan tanah terbatas adalah relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan tanah didalam daerah pengaman transformator khususnya untuk gangguan di dekat netral yang tidak dapat dirasakan oleh relai diferential.
- i) Relai termis adalah relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkanoleh arus lebih.
- j) Peralatan pernafasan (*dehydrating breather*) adalah ventilasi udara yang berupa saringan silikagel yang akan menyerap uap air.
- k) Indikator – indikator
- l) Thermometer / Temperature Gauge, alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat panas dari trafo, baik panasnya kumparan primer dan sekunder juga minyak trafonya.
- m) Permukaan minyak/Level Gauge, alat ini berfungsi untuk penunjukan tinggi permukaan minyak yang ada pada konservator.

Untuk mengawasi selam transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator yang antara lain sebagai berikut :

- a. Indikator suhu minyak
- b. Indikator permukaan minyak
- c. Indikator sistem pendingin dan Indikator kedudukan tab

2.1.3 Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan – kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo tenaga yang berkapasitas besar karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah. Sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Di dalam sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif “membangkitkan” energi panas, yaitu besi (inti) tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendingin akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Minyak trafo sebagai bahan isolasi sekaligus sebagai media penghantar panas dari bagian yang panas (belitan dan inti) ke dinding tangki atau radiator pendingin memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Berat jenis (*Specific gravity*) 0,85 sampai 0,90 pada suhu 13,5°C
- b) Kekentalan (*Viscosity*) cukup rendah untuk memperlancar sirkulasi dari bagian yang panas ke bagian yang dingin, yaitu 100 sampai 110 sayboltsecond pada 40°C.
- c) Titik didih tidak kurang dari 135°C
- d) Titik beku tidak lebih dari -45°C

- e) Tegangan tembus tidak kurang dari 30 kV/2,5 mm atau 120 kV/1 cm.
- f) Koefisien muai 0,00065/ 1°C.
- g) Titik api (*flas point*) 180°C sampai 190°C
- h) Titik nyala (*burning point*) 205°C
- i) Kelembaban terhadap uap air (*moisture*)

3.1.4 Mekanisme Ketembusan Isolasi Cair

Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan, antara lain pertama adalah isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan di elektrik yang lebih tinggi menurut hukum paschen. Kedua isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses.

Konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi. Ketiga isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*). Namun kekurangan utama isolasi cair adalah mudah terkontaminasi. Beberapa macam faktor yang diperkirakan mempengaruhi ketembusan minyak transformator seperti luas daerah elektroda, jarak celah (*gas spacing*), pendinginan, perawatan sebelum pemakaian (*elektroda dan minyak*), pengaruh kekuatan dielektrik dari minyak transformator yang diukur serta kondisi pengujian atau minyak transformator itu sendiri juga mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak transformator. Ketembusan isolasi (*insulation breakdown, insulation failue*) disebabkan karena beberapa hal antara lain : Isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu

tarikan atau tekanan (*stress*) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar supaya isolator tidak tembus.

Dalam struktur molekul material isolasi, elektron – elektron terikat berat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan. Bila ikatan putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron – elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidak murnian (*impurity*) seperti adanya arang kelembahan dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan tembus.

3.1.5 Sifat – Sifat Listrik Cairan Isolasi

Sifat – sifat listrik yang menentukan unjuk kerja cairan sebagai isolasi adalah :

- a) *Withstand breakdown* kemampuan untuk tidak mengalami ketembusan dalam kondisi tekanan listrik (*electric stress*) tinggi.
- b) Kapasitas listrik per unit volume yang menentukan primitivitas relatifnya. Minyak petroleum merupakan substansi nonpolar yang efektif karena merupakan campuran cairan hidrokarbon. Minyak ini memiliki primitivitas kira – kira 2 atau 5 ketidak bergantungan primitivitas substansi nonpolar pada frekuensi membuat bahan ini lebih banyak dipakai dibandingkan dengan bahan yang bersifat polar. Misalnya air

memiliki primitivitas 78 untuk frekuensi 50 Hz, namun hanya memiliki primitivitas 5 untuk gelombang mikro.

- c) Faktor daya : Faktor dissipasi daya dari minyak dibawah tekanan bolak balik dan tinggi akan menentukan unjuk kerjanya karena dalam kondisi berbeban terdapat sejumlah rugi – rugi dielektrik. Faktor dissipasi sebagai ukuran rugi daya merupakan parameter yang penting bagi kabel dan kapasitor. Minyak transformator murni memiliki factor dissipasi yang bervariasi antara 10^{-4} pada 20°C dan 10^{-3} pada 90°C pada frekuensi 50 Hz.

Berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh ASTM yakni dalam standar D-877 disebutkan bahwa suatu bahan isolasi harus memiliki tegangan tembus sebesar kurang lebih 30 kV untuk lebar sela elektroda 1 mm, dengan kata lain kekuatan dielektrik bahan isolasi kurang lebih 30 kV/mm. sedangkan menurut standar ATM D-1816 suatu bahan isolasi harus mampu menahan tegangan sebesar 28 kV untuk suatu lebar sela elektroda sebesar 1,2 mm. Standar ini merupakan standar yang diterima secara internasional dan harus dipenuhi oleh suatu beban yang dikategorikan sebagai bahan isolasi.

3.1.6 Pendingin

Pada inti besi dan kumparan – kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan akan meruak isolasi di dalam transformstor. Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu

dilengkapi dengan alat/sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa :

1. Udara/Gas
2. Minyak
3. Air
4. Dan Lain Sebagainya

Sedangkan pengalirannya (*sirkulasi*) dapat dengan cara :

1. Alamiah (*natural*)
2. Tekanan/Paksaan

Pada cara ilmiah (*natural*), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas yang lebih luas antara media minyak, udara dan gas, dengan cara melengkapi transformator dengan sirip – sirip (*radiator*). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih kuat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa – pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut pendingin paksa (*Forced*).

2.2 Hukum Dasar

2.2.1 Hukum Induksi Faraday

Berdasarkan hukum Faraday yang menyatakan bahwa integral garis suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup adalah berbanding lurus dengan perubahan peraturan waktu daripada arus induksi (*fluks*) yang

dilingkari oleh garis lengkung itu. Sedangkan arus induksi magneq melalui suatu luasan yang dibatasi oleh garis lengkung tersebut. Bila arah yang dianggap positif bagi integral garis gaya listrik maka perbandingan lurus itu mempunyai tanda negatif.

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

S : Daya transformator (kVA)

V : Tegangan sisi primer trafo (kV)

I : Arus jala – jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan

Rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

I_{FL} : Arus beban penuh (A)

S : Daya transformator (kVA)

V : Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

Sebagai akibat dari ketidak seimbangan beban antara tiap – tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus dinetral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi – rugi).

Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N \cdot R_N \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

P_N : *Losses* penghantar netral trafo (watt)

I_N : Arus pada netral trafo (A)

R_N : Tahanan penghantar netral trafo (;

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

$$P_G = I_G \cdot R_G \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

P_G : *Losses* akibat arus netral mengalir ketanah (watt)

I_G : Arus netral yang mengalir ketanah (A)

R_G : Tahanan pembumian netral trafo (Ω)

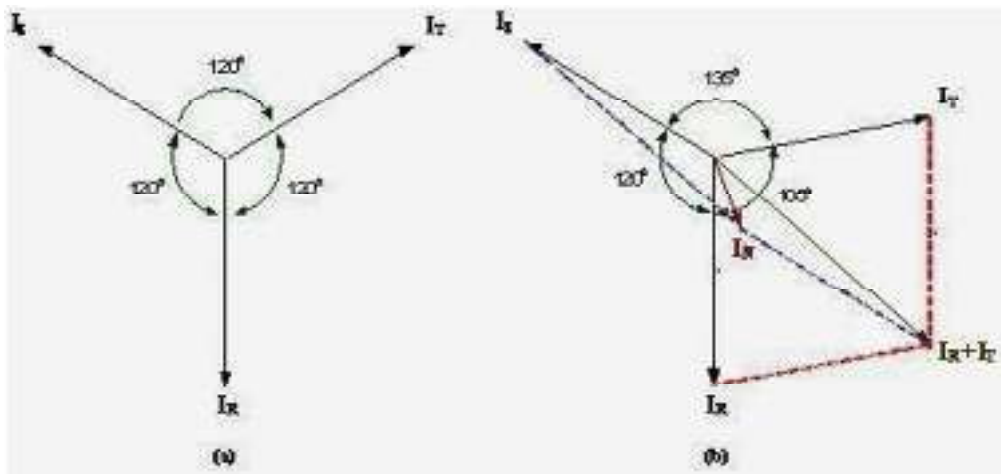
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

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

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga 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° satu sama lain.



Gambar 2.1 vektor diagram arus

Gambar 2.1 (a) 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 arus yang tidak seimbang. Disini 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 tergantung dari seberapa besar faktor ketidak seimbangannya.

Apabila terjadi ketidakseimbangan beban dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{I_R, I_S, I_T}{I_{rata-rata}} \dots \dots \dots (2.5)$$

2.2.2 Daya Pada saluran Distribusi

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

$$P = \sqrt{3} \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- P : Daya pada ujung kirim
- V : Tegangan pada ujung kirim
- I : Arus fasa
- $\cos \varphi$: Faktor daya

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

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

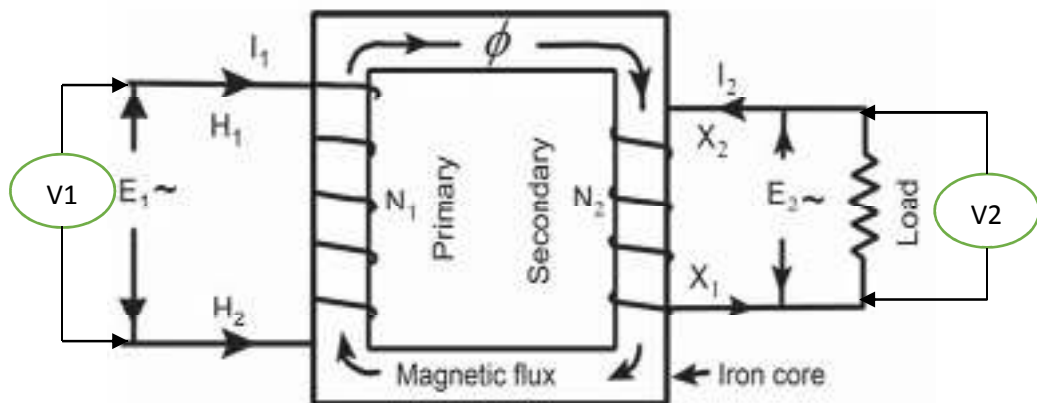
$$[I_T] = c [I]$$

Dengan I_R, I_S dan I_T berturut – turut adalah arus di fasa R, S dan T. bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus

berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan pada pernyataan rumus (2,6).

2.2.3 Prinsip Kerja

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak – balik II pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus II menimbulkan fluks magnet yang berubah – ubah pada intinya. Akibatnya adanya fluks magnet yang berubah – ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL (Gaya gerak listrik) induksi ep.(Energi primer)



Gambar 2.2. Prinsip dasar dari transformator

Dimana :

- V_1 : Tegangan sumber
- V_2 : Tegangan beban
- I_1 : Arus primer
- I_2 : Arus sekunder
- N_p : Jumlah lilitan kumparan primer

- N_s : Jumlah lilitan kumparan sekunder
- E_p : GGL induksi pada kumparan primer
- E_s : GGL induksi pada kumparan sekunder
- Φ : Fluks magnet
- $d\Phi$: Perubahan garis-garis magnet
- dt : Perubahan waktu

Besarnya GGI induksi pada kumparan sekunder :

$$E_p = -N_p \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.7)$$

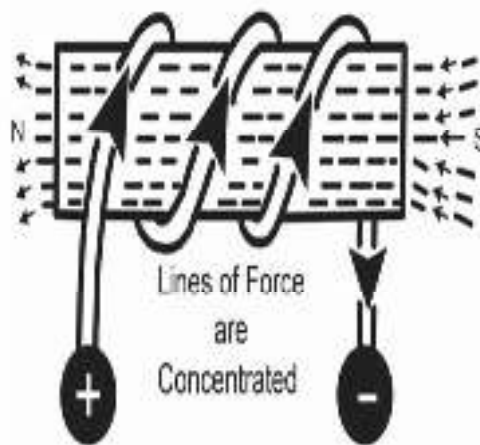
Fluks magnet yang mendiskusikan GGL induksi E_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks).

Dengan demikian fluks tersebut mendiskusikan GGL induksi E_2 pada kumparan sekunder.

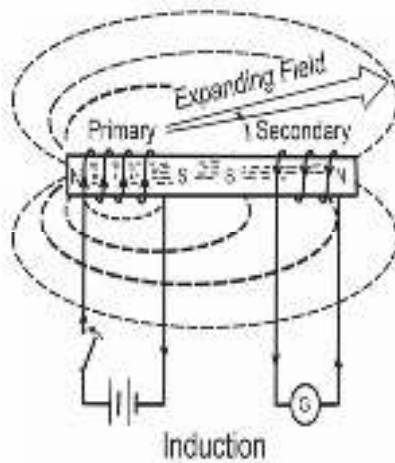
Besar GGI induksi pada kumparan sekunder :

$$E_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.8)$$

Arus listrik bolak – balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet (Gambar 2.2) dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan atau timbul gaya gerak listrik (GGL) (Gambar 2.3).

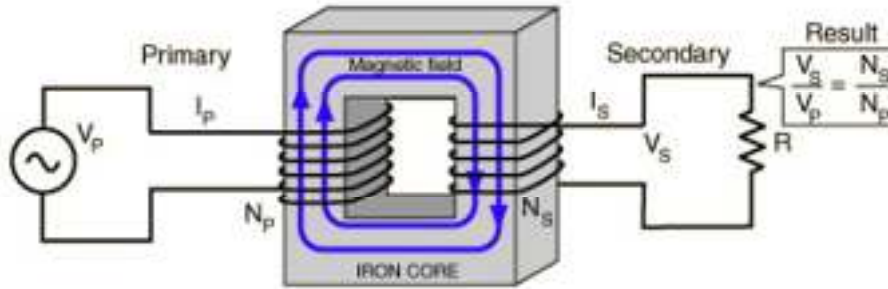


Gambar 2.3. Suatu Arus Listrik Mengelilingi Inti Besi Maka Menjadi Magnet.



Gambar 2.4. Suatu Lilitan Mengelilingi Magnet Maka akan Timbul Gaya Gerak Listrik.

2.2.4 Transformator Ideal



Gambar. 2.5 Transformator Ideal

Pada transformator ideal, tidak ada energy yang diubah menjadi bentuk energy lain didalam transformator sehingga daya listrik pada kumparan sekunder sama dengan daya listrik pada kumparan primer. Pada transformator ideal perbandingan antara tegangan sebanding dengan perbandingan jumlah lilitannya. Daya pada sisi primer akan sama dengan daya sisir sekunder transformator, maka menggunakan rumus :

$$P_p = P_s$$

Oleh karena

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.9)$$

Maka diperoleh

$$V_p \times I_p = V_s \times I_s \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan menghubungkan persamaan (2.7) dengan (2.8) maka diperoleh rumus dibawah ini :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

V_p = Tegangan primer (volt)

V_s = Tegangan sekunder (Volt)

N_p = Belitan sisi primer (lilitan)

N_s = Belitan sisi primer (lilitan)

I_p = Arus belitan (amper)

I_s = Arus belitan (amper)

Namun pada kenyataannya tidak ada transformator yang ideal. Hal ini karena pada transformator selalu ada rugi – rugi yang antara lain sebagai berikut :

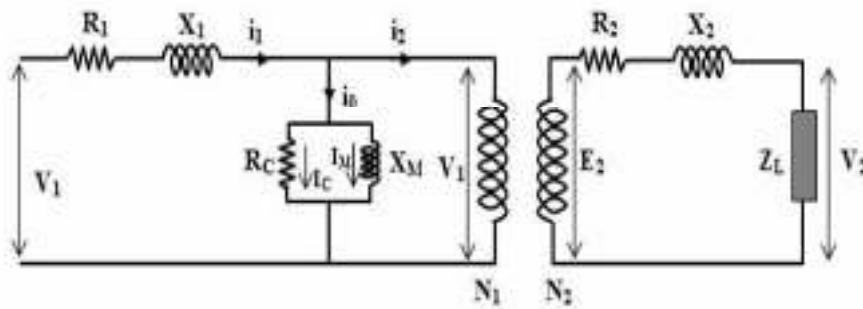
1. Rugi – rugi tembaga : Rugi – rugi yang disebabkan oleh pemanasan yang timbul akibat arus mengalir pada hambatan kawat penghantar yang terdapat pada kumparan primer dan sekunder dari transformator. Rugi – rugi tembaga sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir pada kumparan.
2. Rugi – rugi arus eddy : Rugi – rugi yang disebabkan oleh pemanasan akibat timbulnya arus eddy (pusar) yang terdapat pada inti besi terlalu tebal sehingga terjadi perbedaan tegangan antara sisinya maka mengalir arus yang berputar – putar di sisi tersebut. Rugi – rugi arus eddy sebanding dengan kuadrat tegangan yang disuplai ke transformator.
3. Rugi – rugi hysteresis : rugi – rugi yang berkaitan dengan penyusunan medan magnetic didalam inti besi pada etipa setengah

siklus, sehingga timbul fluks bolak – balik pada inti besi. Rugi – rugi ini tidak linear dan kompleks.

4. Fluks bocor : kebocoran fluks terjadi karena ada beberapa fluks yang tidak menembus inti besi dan hanya melewati salah satu kumparan transformator saja. Fluks yang bocor ini akan menghasilkan induktansi diri pada lilitan primer dan sekunder sehingga akan berpengaruh terhadap nilai daya yang disuplai dari sisi primer ke sisi sekunder transformator.

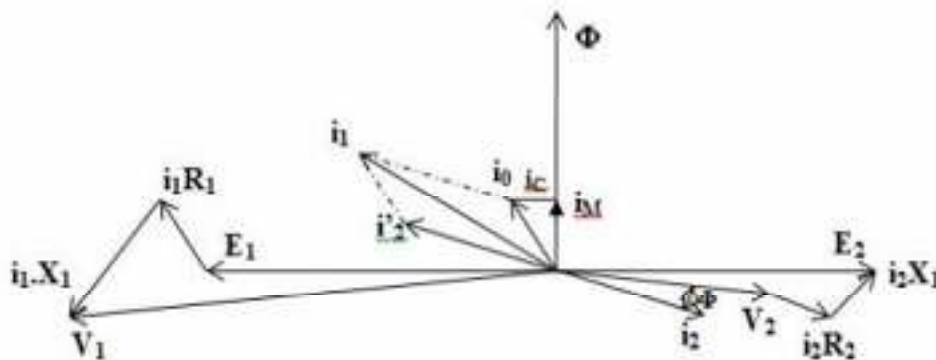
2.2.5 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Rangkaian ekuivalen transformator yang dihasilkan oleh arus pemagnetan. Φ tidak seluruhnya merupakan fluks bersama (Φ_m), sebagian darinya hanya mencakup kumparan primer (Φ_1) atau mencakup kumparan sekunder (Φ_2) saja dalam model rangkaian ekuivalen yang dipakai untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya Φ bocor dengan mengalami proses transformasi dapat ditunjukkan sebagai reaktansi X_1 dan Φ bocor Φ_2 dengan mengalami proses transformasi dapat ditunjukkan sebagai reaktansi X_2 sedang rugi tahanan ditunjukkan dengan R_1 dan R_2 , dengan demikian model rangkaian dapat dituliskan seperti gambar berikut :



Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen sebuah Transformator

Dari rangkaian di atas dapat dibuat vektor diagramnya sebagaimana terlukis pada gambar berikut ini.



Gambar 2.7 Vektor Diagram Rangkaian Pengganti

Dari model rangkaian diatas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektor :

$$V_1 = E_1 + I_1 \cdot X_1 \dots \dots \dots (2.12)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot X_2$$

atau $E_1 = a \cdot E_2$

hingga :

$$E_1 = a (I_2 \cdot Z_L + I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot X_2)$$

Karena

$$I_1/I_2 = N_2/N_1 = 1/a \text{ atau } I_2 = a \cdot I_1$$

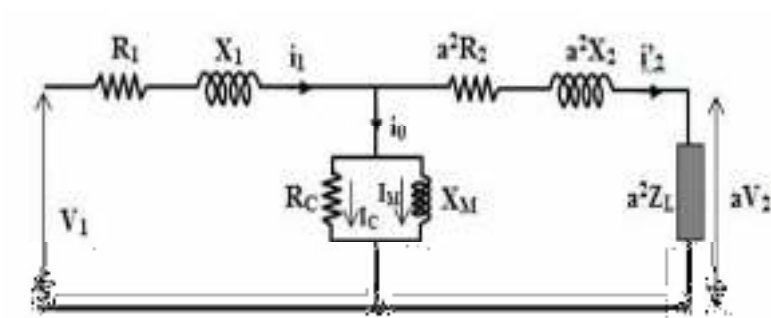
maka

$$E_1 = a^2 I_1 Z_L + a^2 I_1 X_2$$

dan

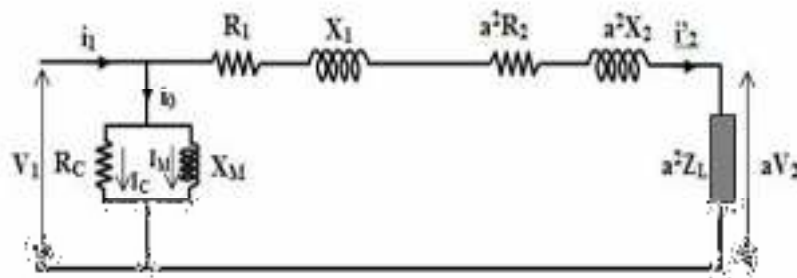
$$V_1 = a^2 I_1 Z_L + a^2 I_1 R_2 + a^2 I_1 X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

Persamaan terakhir mengandung pengertian bahwa apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor a. Sekarang model rangkaian menjadi seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.8 Rangkaian Pengganti Dilihat dari sisi Primer

Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah. Apabila semua parameter sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor a^2 , dimana $a = E_1/E_2$. Sekarang model rangkaian menjadi sebagai terlihat pada gambar berikut.



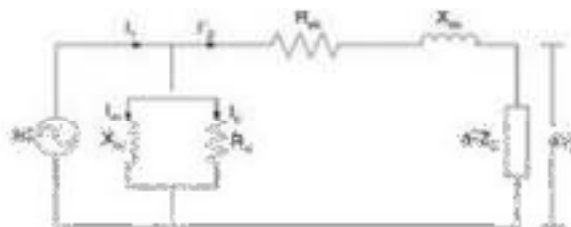
Gambar 2.9 Parameter Sekunder pada Rangkaian Primer

Maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut :

$$R_{ek} = R_1 + a^2 R_2 \text{ (ohm)} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$X_{ek} = X_1 + a^2 X_2 \text{ (ohm)} \dots \dots \dots (2.14)$$

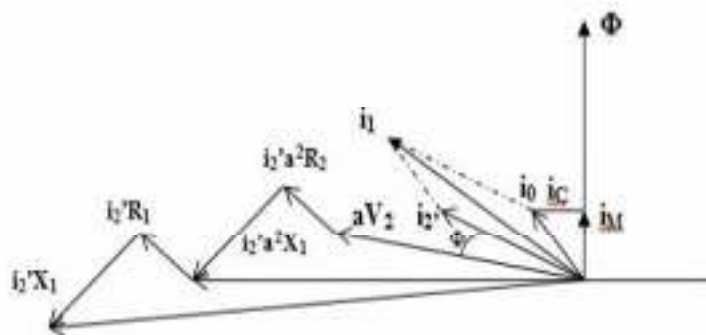
Sehingga rangkaian di atas dapat diubah seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.10 Hasil Akhir Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Transformator

Parameter transformator yang terdapat pada model rangkaian (rangkaiannya ekuivalen) R_c , X_m , R_{ek} dan X_{ek} dapat ditentukan besarnya dengan dua macam pengukuran yaitu pengukuran beban nol dan pengukuran hubungan singkat.

Vektor diagram rangkaian di atas untuk beban dengan faktor kerja terkebelakang dapat dilukiskan pada gambar berikut ini.

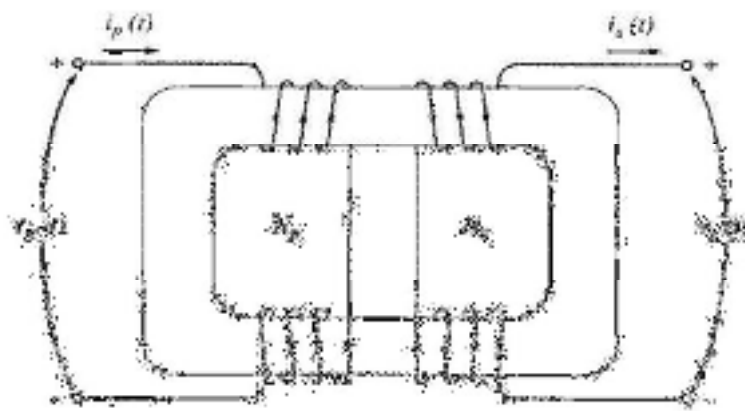


Gambar 2.11 Vektor Diagram Rangkaian Pengganti

2.2.6 Konstruksi Transformator

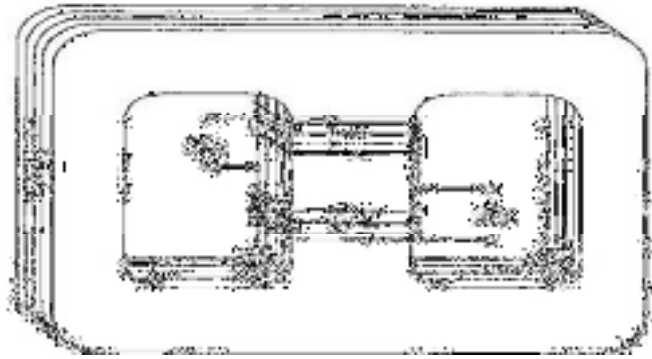
Transformator dikonstruksikan dengan cara sedemikian sehingga dapat meminimumkan rugi – rugi yang mungkin muncul selama operasi transformator. Inti transformator umumnya terbuat dari bahan besi-silikon memiliki rugi – rugi histerisis yang rendah serta bentuk inti besi yang terlamnasi dapat mengurangi rugi – arus eddy. Balitan primer dan sekunder transformator yang sama. Jika belitan umumnya ini diletakkan pada kaki yang terpisah maka pada umumnya dilakukan penelitian dimana setengah dari masing – masing lilitan berada pada masing – masing kaki.

Power transformator dibuat pada satu dari dua macam inti. Tipe konstruksi pertama terdiri dari lapisan lempengan baja segi empat sederhana dengan kumparan transformator melilit kedua sisi persegi empat. Konstruksi ini dikenal dengan nama “*core form*” seperti tampak pada gambar dibawah ini.



Gambar. 2.12. Konstruksi Transformator “*Core Form*”

Sedangkan tipe konstruksi transformator kedua dikenal dengan nama “*shell form*”. Tipe “*shell form*” terdiri sebuah inti yang mempunyai lapisan tiga kaki dengan kumparan melilit disekitar kaki bagian tengah (gambar dibawah ini). Pada kasus yang lain, inti dibuat berlapis – lapis yang diberi lapisan isolasi listrik disetiap lapisannya untuk mengurangi timbulnya arus eddy.



Gambar. 2.13. Konstruksi Transformator “Shell Form”

Berdasarkan penggunaannya didalam sistem tenaga listrik, power transformator dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu :

- a. Unit/step Up transformator, sebuah transformator yang dihubungkan dengan keluaran generator dan digunakan untuk menaikkan tegangan pada level transmisi (150 kV).
- b. Substasion/step Down Transformator, sebuah transformator yang diletakkan dibagian akhir lajur transmisi level distribusi (24 kV).
- c. Distribution transformator, transformator yang mengambil tegangan distribusi dan menurunkan tegangannya ke level tegangan akhir yang mana tegangan listrik akan digunakan (380 dan 220 V).

2.3 Daya Aktif,Reaktif dan Nyata pada Transformator

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energy yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan watt atau “Horsepower” (HP). Horsepower merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara dengan 736 Watt atau LBFT/second. Sedangkan Watt merupakan unit

daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 ampere dengan tegangan 1 Volt.

Daya dinyatakan dalam (P), tegangan dinyatakan dalam (V) dan arus dinyatakan dalam (I), sehingga besarnya daya dinyatakan pada persamaan rumus (2,9)

2.3.1 Daya Aktif (Daya Rata – Rata)

Daya aktif (active power) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energy sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energy panas, cahaya.

Mekanik dan lain – lain. Sebagaimana rumus dibawah ini.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.15)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonveksikan dalam bentuk kerja.

2.3.2 Daya reaktif

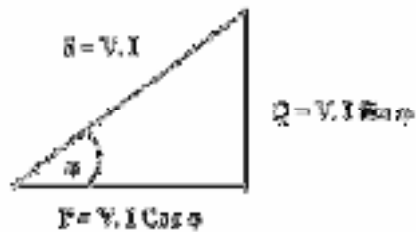
Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk *fluks* medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var (Volt ampere reaktif).

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.16)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.17)$$

2.3.3 Daya Nyata

Daya nyata (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA.



Gambar 2.14 Penjumlahan Trigonometri Daya Aktif, Reaktif dan Semu

$S = P + jQ$, mempunyai nilai/ besar dan sudut

$$S = S \varphi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \varphi$$

Untuk mendapatkan daya satu phasa, maka dapat diturunkan persamaannya seperti di bawah ini :

$$S = P + jQ \dots \dots \dots (2.18)$$

Dari gambar 2.14 terlihat bahwa

$$P = V.I \text{ Cos } \varphi$$

$$Q = V. I \text{ Sin } \varphi$$

maka :

$$S1\varphi = V. I. \text{ Cos } \varphi + j V. I \text{ Sin } \varphi$$

$$S1\varphi = V. I. (\text{Cos } \varphi + j \text{ Sin } \varphi)$$

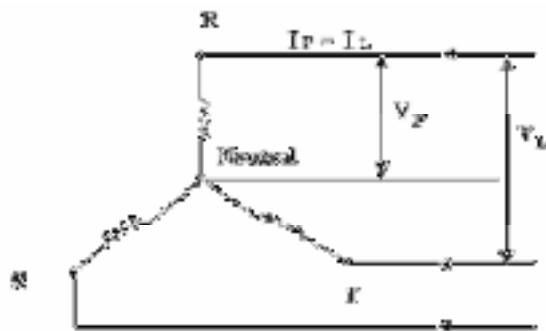
$$S_{1\phi} = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$S_{1\phi} = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$S_{1\phi} = V \cdot I^*$$

Sedangkan untuk rangkaian tiga fase mempunyai 2 bentuk hubungan yaitu :

Hubungan *Wye* (Y)



Gambar 2.15 Hubungan Bintang

dimana :

$$V_{RS} = V_{RT} = V_{ST} = V_L ; \text{ Tegangan antar fasa}$$

$$V_{RN} = V_{SN} = V_{TN} = V_P ; \text{ Tegangan fasa}$$

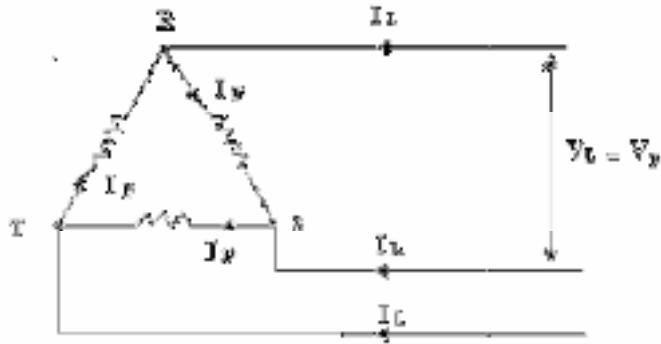
$$I_R = I_S = I_T = I_L (I_P) ; \text{ Arus fasa / Arus saluran}$$

Bila I_L adalah arus saluran dan I_P adalah arus fasa, maka akan berlaku hubungan :

$$I_L = I_P$$

$$V_L = \sqrt{3} V_P$$

Hubungan Delta (Δ)



Gambar 2.16 Hubungan Delta

Di mana :

$$I_{RS} = I_{ST} = I_{TR} = I_p ; \text{ Arus fasa}$$

$$I_R = I_S = I_T = I_L ; \text{ Arus saluran}$$

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L (V_p) ; \text{ Tegangan antar fasa}$$

Bila V_L adalah tegangan antar fasa dan V_p adalah tegangan fasa maka berlaku hubungan :

$$V_L = V_p$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_p$$

Dari kedua macam rangkaian di atas, untuk mendapatkan daya tiga phasanya maka dapat digunakan rumus :

$$S(3) = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \dots \dots \dots (2.19)$$

2.4 Cos Phi Meter

Dalam pengertian sehari – hari disebut pengukur *cosinus phi* (ϕ). Tujuan pengukuran $\text{Cos } \phi$ atau pengukur nilai cosinus sudut fasa adalah, memberikan penunjukan secara langsung dari selisih fasa yang timbul antara arus dan tegangan. Kita menghendaki bukan penunjukan sudut fasa melainkan penunjukan *cosinus phi*. Untuk menghitung $\text{Cos } \phi$ dengan menggunakan rumus :

$$\frac{P}{V \cdot I} = \text{Cos} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

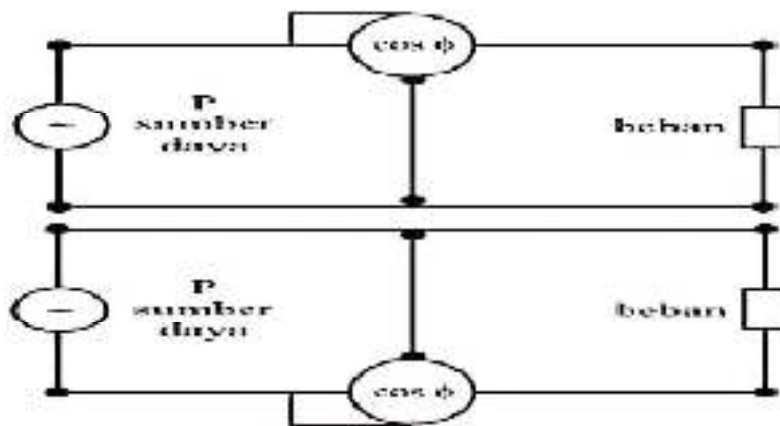
P : Daya dalam satuan watt

V : Tegangan dalam satuan volt

I : Arus listrik dalam satuan amper

2.4.1 Definisi Cos Phi Meter

Cosphimeter adalah alat yang digunakan untuk mengetahui, besarnya faktor daya (*power factor*) yang merupakan beda fase antara tegangan dan arus. Dalam pengertian sehari – hari disebut pengukur *cosines* ϕ . Tujuan pengukuran $\text{Cos } \phi$ atau pengukur nilai cosinus sudut phasa. Cara penyambungan adalah tidak berbeda dengan Watt meter sebagaimana gambar dibawah ini :



Gambar. 2.17. Cos Phi Meter

Cosphimeter banyak digunakan dan terpasang pada :

- Panel pengukuran mesin pembangkit
- Panel gardu hubung gardu induk
- Alat pengujian, alat penerangan, dan lain – lain.

Jenis – jenis Cos Phi Meter yaitu :

- Cos Phi Meter Circutor
- Cos Phi Meter Perinsip Elektro Dinamis
- Cos Phi Meter dengan Azas Kumparan Silang

2.4.2 Teknik Pengukuran Dengan Menggunakan Cos Phi Meter

Pembacaan harga pada alat ukur Cos Phi Meter secara cermat harus dilakukan dengan melihat tepat diatas jarum penunjuk. Dengan demikian dibaca harga pada garis skala yang tertulis tepat dibawah runcing jarum. Bila tidak melihat tepat diatas penunjuk akan terbaca harga sebelah kiri atau sebelah kanan dari garis sebenarnya, kesalahan ini disebut paralaks. Untuk menghindari paralaks tersebut runcing jarum dari alat cermat dibuat berupa sayap tipis dan dipasang cermin kecil dibawah runcing jarum skala. Dalam posisi baca yang benar, maka jarum runcing dan bayangannya pada cermin harus tepat satu garis tipis.

Cara merubah atau mengurangi tahanan sebelum besaran listrik masuk ke komponen utama alat ukur dengan perbandingan nilai tertentu terhadap nilai tahanan alat ukur, sehingga besaran sebenarnya yang masuk pada komponen utama alat ukur tetap pada batas semula.

2.4.3 Perinsip Kerja Cos Phi Meter

Pengukuran Cos ϕ berdasarkan pada dasar – dasar gerak listrik dapat dianggap sebagai pengukuran kumparan silang. Kumparan didalamnya terdiri dari kumparan arus dan kumparan tegangan, prinsip seperti pengukur Watt. Dalam proses pengukuran Cos ϕ , prinsip pengukuran bukanlah dituntut

hasil yang persis. Menurut petunjuk - petunjuk dari pembuat atau yang memproduksi alat ukur, kesalahan yang diizinkan adalah dua derajat, sudut skala penunjukan.

Pada kumparan S₁ bekerja suatu gaya,

$$K_1 = C_1 \cdot I_1 \cdot I_3 \cdot \cos \varphi$$

$$Q = C_2 \cdot V_1 \cdot \cos \varphi$$

Gaya pada kumparan S₂ besarnya :

$$K_2 = C_3 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot \cos (90 - \varphi) = C^4 \cdot V \cdot I \sin \alpha$$

Kopel yang ditimbulkan oleh K₁ adalah :

$$M_1 = C^5 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \sin \alpha$$

Kopel K₂ adalah :

$$M_2 = C_6 \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \cos \alpha$$

Atau $\tan \alpha = C \cdot \tan \varphi$

Akibatnya bahwa dengan jarum yang dihubungkan dengan kumparan - kumparan yang dapat bergerak dan yang sikapnya selalu sesuai dengan kumparan S₂, memberi penunjukan yang langsung berbanding lurus dengan F . kalau arus mendahului, gambar diatas, kopel ditimbulkan oleh gaya I₂ dari I₃ karena itu kedua gaya kopel bekerja bersama - sama, dimana kumparan S₂ dengan jarumnya berhenti dimuka sudut negative F berarti di sebelah kiri dari garis tengah yang tegak.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian deskriptif analitis yang bertujuan untuk mengetahui pengkajian terhadap data – data teknis yang terjadi pada saluran distribusi.

3.2 Lokasi Dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan dengan memilih lokasi penelitian. Dengan memandang kasus yang kami angkat yaitu Analisa Evaluasi Dan Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Gardu Induk Unit Tragi Bulukumba P.T. PLN (Persero).

Lokasi penelitian terletak di Bulukumba Alokasi waktu penelitian yang digunakan selama pelaksanaan.

3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

Melakukan pengumpulan data dan dokumenter dalam suatu kasus atau kejadian pada objek penelitian.

3.3.2 Data Sekunder

- a. Studi pustaka, merupakan pengumpulan materi, artikel, buku, laporan kerja, atau makalah.
- b. Interview, sharing dan diskusi sebagai pembanding antara kejadian (objektif) dilapangan dengan dokumentasi.
- c. Dokumentasi, dalam hal ini sebagai penunjang data utama

3.4 Objek Penelitian

Objek penelitian dilaksanakan dengan memusat pada keandalan sistem jaringan distribusi Gardu Induk Unit Tragi Bulukumba.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan berbagai data yang valid serta informasi akurat dalam penelitian, penulis menggunakan pengumpulan sumber data yang masih ada hubungan relevansinya dengan obyek penelitian Metode pengumpulan data yang kami maksud yaitu ;

- 1) Metode penelitian lapangan (*field research*)

Pada metode ini penulis langsung mengadakan observasi pada obyek penelitian pada trafo distribusi Gardu Induk Bulukumba. Tujuannya agar tempat penelitian tersebut dapat lebih diketahui secara dekat baik fisiknya maupun personilnya.

- 2) Metode penelitian pustaka (*library research*)

Untuk mendukung pembahasan hasil penelitian, maka digunakan peralatan teori sehingga pembahasan kita tentang apa yang diteliti dan dibahas tidak menimbulkan pengertian yang berbeda – beda.

3.6 Sumber Data

Dalam menyusun proposal ini adalah data yang diperoleh dengan menggunakan observasi pada obyek penelitian lapangan yakni instansi atau lembaga yang terkait dengan obyek penelitian lapangan yaitu pada P.T. PLN (persero) AP2B Sulsel Rabar Unit Tragi Bulukumba.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Trafo Daya

Spesifikasi Transformator Daya yang Digunakan di Gardu Induk

Bulukumba :

Daya	: 20 MVA
Tegangan Kerja	: 150 kV/24 kV/ 16kV
Arus	: 630 A
R_G dan R_N	: 40 Ohm
Hubungan	: $Y_{nyn+d11}$
Impedansi	: 42,35 %
Trafo	: 1x3 phasa

4.2 Analisis Beban Puncak Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

dimana :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer trafo (kV)

I : arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

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

dimana :

I_{FL} : arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder (kV)

4.2.1 Hasil Perhitungan I_N Siang

Tabel 4.1 Fasa R,S dan T

I_R	I_S	I_T
182A	170A	181A

$$\begin{aligned} I_N &= 182 \angle 0^\circ + 170 \angle 240^\circ + 181 \angle 120^\circ \\ &= 182 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 170 (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) + 181 (\cos \\ &\quad 120^\circ + j \sin 120^\circ) \end{aligned}$$

$$= A + jB$$

$$\begin{aligned} I_N &= \sqrt{A^2 + B^2} \\ &= 182 (1 + j0) + 170 (-0,5 + j 0,866) + 181 (-0,5 + j 0,866) \\ &= 182 - 85 - j 147,22 - 90,5 + j 156,764 \\ &= 182 - 85 - 90,5 - j 147,22 + j 156,764 \\ &= 6,5 + j 9,544 \end{aligned}$$

$$I_N = \sqrt{6,5^2 + 9,544^2}$$

$$= \sqrt{42,25 + 91,087}$$

$$= \sqrt{133,337}$$

$$= 11,547 \text{ A}$$

$$\angle = \tan^{-1} \frac{B}{A}$$

$$= \tan^{-1} \frac{9,544}{6,5}$$

$$= 55,74$$

$$I_N = 11,547 \text{ A } \angle 55,74^\circ$$

4.2.2 Hari pertama (Minggu 3 Desember 2017) Siang

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Siang

I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)		Cos φ
			Pengukuran	Perhitungan	
182	170	181	7,38	11,547	0,97

Sehingga dari data di atas dapat dihitung :

$$S = 20 \text{ MVA} = 20.000 \text{ kVA}$$

$$V = 24 \text{ kV}$$

$$I_{FL} = I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = I_{FL} = \frac{20000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 24 \text{ kV}} = 481,69 \text{ Ampere}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{182 + 170 + 181}{3} = \frac{533}{3} = 177,67 \text{ Ampere}$$

$$\text{Persentase pembebanan trafo : } \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} = \frac{177,67}{481,69} = 36,88 \%$$

Dari perhitungan dapat terlihat bahwa persentase beban cukup tinggi yaitu : 36,88 %

Analisis ketidakseimbangan trafo :

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{182}{177,67} = 1,02 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{170}{177,67} = 0,95 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{181}{177,67} = 1,01 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a,b dan c adalah 1

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam%) adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{(|1,02-1| + |0,95-1| + |1,01-1|)}{3} \times 100 \% \\ &= 2,67 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat terlihat bahwa ketidak seimbangan beban tidakterlalu besar sekitar 2% hal ini disebabkan pembebanan beban tidak merata diantara konsumen.

Analisis *Losses* Akibat adanya Arus Netral

Dari persamaan *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 7,38^2 \times 40 \Omega \\ &= 2178,57 \text{ Watt} \\ &= 2,178 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dimana daya aktif trafo (p) :

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$P = 20000 \text{ kVA} \cdot 0,97$$

$$= 19400 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses akibat* adanya arus netral

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{2,178 \text{ kW}}{19400 \text{ kW}} \times 100\% = 0,011\%$$

4.2.3 Hasil Perhitungan I_N Malam

Tabel 4.3 Fasa R, S dan T

I_R	I_S	I_T
312A	303A	317A

$$I_N = 312 \angle 0^\circ + 303 \angle 240^\circ + 317 \angle 120^\circ$$

$$= 312 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 303 (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) + 317 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ)$$

$$= A + jB$$

$$I_N = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$= 312 (1 + j0) + 303 (-0,5 + j 0,866) + 317 (-0,5 + j 0,866)$$

$$= 312 - 151,5 - j 262,398 - 158,5 + j 274,522$$

$$= 312 - 51,5 - 158,5 - j 262,398 + j 274,522$$

$$= 2 + j 12,124$$

$$\begin{aligned}
I_N &= \sqrt{2^2 + 12,124^2} \\
&= \sqrt{4 + 146,99} \\
&= \sqrt{150,991} \\
&= 12,287 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\angle &= \tan^{-1} \frac{B}{A} \\
&= \tan^{-1} \frac{12,124}{2} \\
&= 6,062
\end{aligned}$$

$$I_N = 12,287 \text{ A} \angle 6,062^0$$

4.2.4 Hari pertama (Minggu 3 Desember 2017) Malam

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Malam

I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)		Cos φ
			Pengukuran	Perhitungan	
312	303	317	8,9	12,287	0,97

Sehingga dari data di atas dapat dihitung :

$$S = 20 \text{ MVA} = 20.000 \text{ KVA}$$

$$V = 24 \text{ kV}$$

$$I_{FL} = I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = I_{FL} = \frac{20000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 24 \text{ kV}} = 481,69 \text{ Ampere}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{312 + 303 + 317}{3} = \frac{932}{3} = 310,67 \text{ Ampere}$$

$$\text{Persentase pembebanan trafo} : \frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{310,67}{481,69} = 64,50 \%$$

Dari perhitungan dapat terlihat bahwa persentase beban cukup tinggi yaitu : 64,50 %

Analisis ketidakseimbangan trafo :

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{312}{310,67} = 1,00 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{303}{310,67} = 0,97 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{317}{310,67} = 1,02 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a,b dan c adalah 1

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam%) adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{(|1,00-1| + |0,97-1| + |1,02-1|)}{3} \times 100 \% \\ &= 1,66 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat terlihat bahwa ketidak seimbangan beban tidak terlalu besar sekitar 2% hal ini disebabkan pembebanan beban tidak merata diantara konsumen.

Analisis *Losses* Akibat adanya Arus Netral

Dari persamaan *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N = 8,9^2 \times 40 \Omega \\ &= 3168,4 \text{ Watt} \\ &= 3,1684 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dimana daya aktif trafo (p) :

$$P = s \cdot \cos \varphi$$

$$P = 20000 \text{ kvA} \cdot 0,97$$

$$= 19400 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses akibat* adanya arus netral

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{3,1684 \text{ kW}}{19400 \text{ kW}} \times 100 \% = 0,016 \%$$

4.3 Hasil

Dari analisis yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa trafo yang ada di Sulawesi Selatan khususnya pada Gardu Induk Bulukumba 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 4.5 Beban Transformator

Waktu	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I rata-rata (A)	Persentase (%)
Siang hari	182	170	181	177,67	36,88
Malam hari	312	303	317	310,67	64,50

Dari tabel 4.5 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 64,50 %.

Tabel 4.6 Ketidakseimbangan Beban

Waktu	a (A)	b (A)	c (A)	Ketidak seimbangan rata-rata	Persentase (%)
Siang hari	1,02	0,95	1,01	1,06	2,67
Malam hari	1,00	0,97	1,02	1,01	1,66

Dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban rata-rata terjadi pada siang hari sebesar 1,06 dan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 2,67 %.

Tabel 4.7 Losses Akibat adanya Arus Netral

Waktu	R_N (Ω)	I_N (A)		Losses akibat arus netral pada penghantar netral trafo (KW)	Persentase <i>losses</i> (%)
		Pengukuran	Perhitungan		
Siang hari	40 Ω	7,38	11,547	2,178	0,011
Malam hari	40 Ω	8,9	12,287	3,1684	0,016

Dari tabel 4.7 terlihat bahwa *losses* lebih besar terjadi pada malam hari yaitu 3,1684 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 dipengahantar netral trafo akan menyebabkan semakin besar *losses* daya dan semakin besar pula persentase *losses*nya.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil presentase tabel 4.6, terlihat bahwa pada siang hari ketidakseimbangan beban pada trafo daya lebih besar yaitu (2,67%) dari pada dibandingkan pada malam hari yaitu (1,66%) hal ini kemungkinan disebabkan oleh penggunaan listrik yang tidak merata.
2. Dari hasil analisa data, *losses* akibat adanya arus netral yaitu 3,1684 KW, pada malam hari dan 2,178 KW pada siang hari. Hal ini terjadi karna pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari.

5.2 Saran

1. Perlunya adanya perawatan trafo minimal 1 tahun sekali untuk mencegah terjadinya ketidakseimbangan beban.
2. Untuk PLN Cabang sebaiknya lebih rutin melakukan pengecekan pelanggan untuk mencegah terjadinya ketidakseimbangan beban pada trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- Fahrurozi, dkk, 2014. “*Analisa Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di Gedung Fakultas Teknik Universitas Riau*” Pekanbaru : Universitas Riau, fahrurozi.ft.te@gmail.com, Volume 1 No. 2 Oktober 2014.
- Hadi, Abdul, 1994 “*Sistem Distribusi Daya Listrik*”, Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
- Kadir, Abdul, 2000 “*Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*”, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2000.
- Laksono, Arief Budi, 2010, “*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi*” Universitas Islam Lamongan, Volume 2 No.1 Tahun 2010 ISSN : 2085 – 0859.
- Setiadji, Jelius Sentosa, dkk. 2006, “*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi*”. Jawa Timur : PT. PLN(Persero), julius@petra.ac.id Vol. 6 No.1, Maret 2006: 68 – 73
- SNI, 2000 *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Jakarta : Badan standarisasi Nasional, 2000. ICS 91.140.50.\
- Siregar, Rizky Syahputra, dkk. 2017. “*Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban*”. Medan : USU INDONESIA e-mail : r_putra@rocketmail.com. ISSN : 2598 – 1099 ISSN : 2502 – 3624.



PT PLN (PERSERO) WILAYAH SULSELBAR

UNIT PELAYANAN TRANSMISI SULSELBAR

PLN

Jl Bontoramba No 9, Makassar 90223, Sulawesi Selatan

T (0411) 853432

F (0411) -

W www.pln.co.id

Nomor : 0005/REN.09.03/UPT/2017
Sifat :
Perihal : Izin Penelitian

27 Desember 2017

Kepada Yth,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah
Di,-
Tempat

Menunjuk Surat Saudara tanggal 13 Desember 2017, dengan nomor : 1044/05/C.4-VI/XII/39/2017. Perihal Permintaan Data Dalam Penyelesaian Tugas Akhir, dengan ini kami sampaikan bahwa :

No	Nama	NIM	Ket
1.	Miming Roi Marling	105 82 1079 12	
2.	Muhammad Mujahidin	105 82 1039 12	

Dapat kami setuju untuk melaksanakan Penelitian pada Tragi Bulukumba PT PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Sulselrabar, pada tanggal 27 Desember 2017 s.d 27 Januari 2018.

Perlu kami sampaikan bahwa selama pelaksanaan kegiatan tersebut Mahasiswa harus mematuhi segala peraturan yang berlaku di PT PLN (Persero) UPT Sulsel, Sultra dan Sulbar, serta pihak PT PLN tidak menyediakan sarana transportasi maupun sarana lainnya. Untuk itu yang bersangkutan harap melapor ke PT PLN (Persero) UPT Sulsel, Sultra dan Sulbar Cq. Supervisor SDM dan membawa pas photo ukuran 2x3 sebanyak 2 (dua) lembar.

Demikian kami sampaikan, dan atas perhatiannya diucapkan terima kasih.



Tembusan :
- Manajer Tragi Bulukumba

LAPORAN BEBAN PUNCAK TRAFIK DAN TRANSMISI MINGGUAN TRAGI BULUKUMBA
 PERIODE: 15/07 DESEMBER 2017

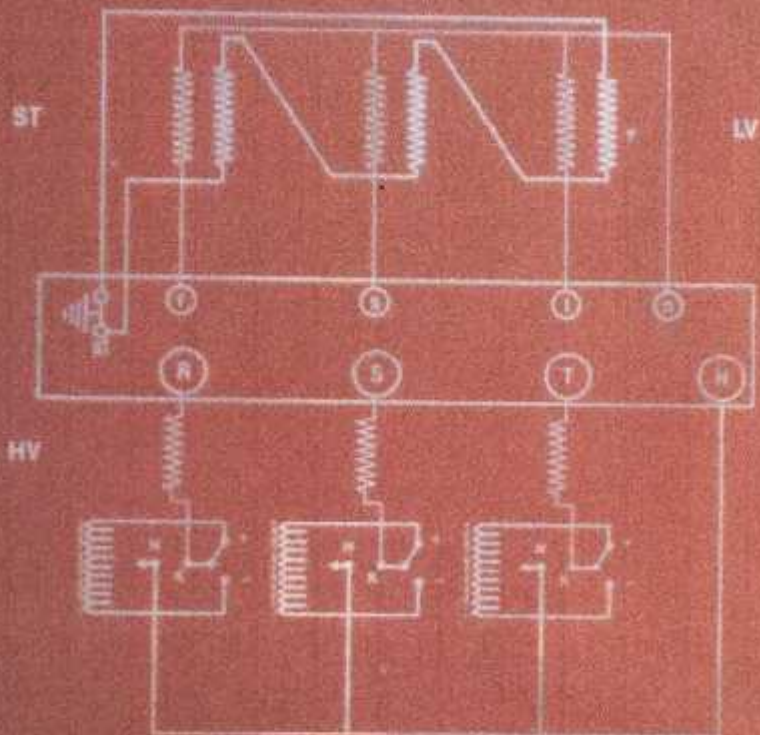
NO	LOKASI	NAMA BAY	TANGGAL																													
			1				2				3				4				5				6				7					
			JAM	MW	MVAR	AMP	JAM	MW	MVAR	AMP	JAM	MW	MVAR	AMP	JAM	MW	MVAR	AMP	JAM	MW	MVAR	AMP	JAM	MW	MVAR	AMP	JAM	MW	MVAR	AMP		
1	BAYALASA	Trako #1 20 MVA	19:00	15,4	2,2	311	19:00	12,8	2,8	178	19:00	9,1	1,9	271	19:00	9,2	1,6	375	19:00	9,7	1,9	285	19:00	1,0	2	297	19:00	9,8	3	295		
		Trako #2 20 MVA	19:00	6,4	4,7	245	19:00	2,7	0,4	83	19:00	7,1	1,2	204	19:00	7,9	1,6	281	19:00	8	3,4	246	19:00	5,1	1,5	239	19:00	11	5,3	334		
		Line Suppangranta #1	19:00	21,0	14,5	376	19:00	38,4	19,1	385	19:00	87,6	26,3	351	19:00	81,4	17,2	355	19:00	80,1	30,4	376	19:00	80,5	18,9	371	19:00	81,1	17,2	384		
		Line Suppangranta #2	19:00	98,6	14,3	376	19:00	94,4	10,1	385	19:00	89,6	26,3	351	19:00	81,4	17,2	355	19:00	80,1	30,4	376	19:00	80,5	18,9	371	19:00	81,1	17,2	384		
		Line PTU #1	19:00	-	-	-	19:00	-	-	-	19:00	-	-	-	19:00	-	-	-	19:00	-	-	-	19:00	-	-	-	19:00	-	-	-	19:00	-
2	GIRISEPWOTO	Trako #1 20 MVA	19:00	7,5	1,5	211	19:00	7,5	1,5	211	19:00	6,9	1,3	197	19:00	6,9	1,3	188	19:00	7,3	1,4	197	19:00	3,4	1,8	210,0	19:00	7,4	1,3	219		
		Trako #2 20 MVA	19:00	9,3	1,5	271	19:00	9,3	1,1	271	19:00	9,0	1,1	257	19:00	8,8	1	261	19:00	9,3	1,3	275	19:00	8,2	1,3	265,0	19:00	8,4	1,4	276		
		Line Bulukumba	20:00	30	-7,1	194	20:00	47,0	-5,4	205,0	20:00	43,0	-5,1	234	20:00	49,0	-4,9	263,0	20:00	65,0	-1,0	287,0	20:00	67,0	-4,7	347,0	20:00	34	0,8	32,0		
		Line Bantaeng (NEW)	21:00	55,0	-6,5	202,0	21:00	51,0	-4,8	194	21:00	66,0	-4,6	345	21:00	72,0	-4,1	273,0	21:00	87	-2,7	250,0	21:00	89,0	-4,1	294,0	21:00	36,0	0,8	101,0		
		Line PTU #1	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0	3,7	210,0	22:00	66,0
3	GIRISANTANG (M/W)	Trako #1 20 MVA	19:00	9,9	0,9	286	19:00	8,7	1	175	19:00	9,1	0,7	201	19:00	6,1	1,1	181	19:00	7,8	0,7	122	19:00	7,2	0,7	110	19:00	1,4	0,8	142		
		Line Jemponto	21:00	56,4	0,1	150	21:00	48,1	0,8	183	21:00	64,8	4,3	167	21:00	69,8	6,1	281	21:00	66,3	3,8	196	21:00	66,8	3,0	259	21:00	-36,0	-2,0	88		
		Line Switching	21:00	3,0	-1,8	119	21:00	41,4	-3,0	129	21:00	64,1	-5,8	171	21:00	64,1	-5,8	248	21:00	39,8	-2,9	129	21:00	80,4	-4,1	231	21:00	24,4	0,4	76		
		Trako Distribusi 20 MVA	19:00	11,0	1,3	44	19:00	10,8	2,5	40	19:00	10,8	2,5	40	19:00	10,7	2,4	45	19:00	10,8	2,6	40	19:00	11,5	2,9	40	19:00	11,0	2,8	40		
		Trako Distribusi 20 MVA	19:00	10,0	4,8	46	19:00	16,0	4,7	55	19:00	15,8	6,0	60	19:00	15,4	4,0	61	19:00	15,5	4,0	55	19:00	15,5	4,2	55	19:00	15,0	4,4	58		
4	BULUKUMBA	Line Bantaeng Switch	19:00	22,90	0,00	103,00	19:00	17,30	2,30	61,40	19:00	15,70	2,40	193,00	19:00	62,40	5,02	135,00	19:00	56,50	0,00	211,00	19:00	-40,30	0,00	180,00	19:00	-16,30	0,00	83,60		
		Line Jemponto	19:00	11,40	-4,80	46,80	19:00	0,00	0,00	0,00	19:00	16,90	-7,50	143,30	19:00	47,30	-0,00	183,00	19:00	41,80	7,10	154,00	19:00	38,00	4,10	120,00	19:00	0,00	0,00	0,00		
		Line Bantaeng	19:00	21,40	0,00	11,40	19:00	12,90	0,00	47,40	19:00	45,70	-2,50	173,00	19:00	54,60	-2,40	208,00	19:00	49,10	0,00	186,00	19:00	49,20	1,00	154,00	19:00	0,00	0,00	0,00		
		Line Sindi	19:00	11,40	-4,80	46,80	19:00	0,00	0,00	0,00	19:00	16,90	-7,50	143,30	19:00	47,30	-0,00	183,00	19:00	41,80	7,10	154,00	19:00	38,00	4,10	120,00	19:00	0,00	0,00	0,00		
		Line Sindi	19:00	11,40	-4,80	46,80	19:00	0,00	0,00	0,00	19:00	16,90	-7,50	143,30	19:00	47,30	-0,00	183,00	19:00	41,80	7,10	154,00	19:00	38,00	4,10	120,00	19:00	0,00	0,00	0,00		
5	GIRISMA	Trako #1 20 MVA	19:00	11,8	2	227	19:00	11	1,2	147	19:00	11,2	0,9	323	19:00	8,1	0,7	245	19:00	11	0,8	318	19:00	11,1	0,7	319	19:00	11,7	1,1	343		
		Trako #2 20 MVA	20:00	9,4	1,9	295	20:00	11,9	1,7	198	20:00	4,6	5,6	227	20:00	3,9	5,8	211	20:00	7,2	1,8	201	20:00	6,1	4,3	279	20:00	4,9	2,3	205		
		Line Bantaeng	19:00	17	6	71	19:00	51	9	123	19:00	44	34	137	19:00	53	19	144	19:00	47	13	187	19:00	46	14	133	19:00	0	4,8	34		
		Line Bulukumba	19:00	29	-1	89	19:00	29	2	115	19:00	48	-3,5	101	19:00	54	7,9	234	19:00	48	4,7	0,00	19:00	56	3,8	212	19:00	75	-3,1	51		
		Line Bantaeng	19:00	14,9	3,3	400	19:00	14,8	3,7	421	19:00	14,7	3,6	413	19:00	13,6	3,2	380	19:00	13,7	3,0	396	19:00	14,0	3,4	398	19:00	14,5	3,6	414		
6	GIRIBONE	Trako #1 20 MVA	19:00	16,1	3,4	493	19:00	19,6	3,1	443	19:00	23,8	3,1	483	19:00	17,4	3,8	486	19:00	15,3	3,3	438	19:00	14,9	3,0	411	19:00	15,0	3,5	455		
		Line Suppang #1	19:00	30	-1	43	19:00	28	3,4	82	19:00	30	14,0	124	19:00	35	-15,0	140	19:00	33	-14,1	111	19:00	34	-14,8	117	19:00	-28	1,8	76		
		Line Suppang #2	19:00	30	-1	43	19:00	28	3,4	82	19:00	30	14,0	124	19:00	35	-15,0	140	19:00	33	-14,1	111	19:00	34	-14,8	117	19:00	-28	1,8	76		
		Line Sindi	19:00	17	0,5	45	19:00	10	-2,4	8	19:00	42	4,0	166	19:00	46	4,0	181	19:00	43	3,7	167	19:00	44	4,0	172	19:00	7,4	0,6	34		
		Line Bulukumba	19:00	18	-0,1	76	19:00	10	0,5	112	19:00	47	3,1	181	19:00	52	2,9	185	19:00	46	1,8	163	19:00	44	2,3	166	19:00	66	0,7	34		
7	GIRIPINANGA	Trako #1 20 MVA	19:00	2,04	0,4	13	19:00	5,22	0,34	12	19:00	7	0	11	19:00	2,01	0,2	11	19:00	3,43	0,5	15	19:00	3,27	0,4	11	19:00	3,24	0,3	12		
		Line Jemponto 1	21:00	45,8	-1,35	168	21:00	57,33	-0,61	208	21:00	71	-1	293	21:00	76,67	-1,7	292	21:00	81,94	-1,2	282	21:00	74,13	-4,2	281	21:00	31,52	5,1	124		
		Line Jemponto 2	21:00	45,34	-1,4	160	21:00	58,03	-0,96	218	21:00	70	-0	291	21:00	76,67	-1,7	292	21:00	74,73	-0,9	281	21:00	73,66	-1,8	277	21:00	31,24	0,2	126		
		Line PTU Pasangir 1	19:00	0,01	0,03	178	19:00	-77,14	-1,34	290	19:00	45	2	166	19:00	52,39	2,9	197	19:00	56,34	-0,2	198	19:00	-52,13	-4,1	189	19:00	-73,22	-4,9	272		
		Line PTU Pasangir 2	19:00	2,04	1,67	19	19:00	1,29	1,67	11	19:00	1,17	0,75	5	19:00	1,17	0,76	5	19:00	20,24	0,00	148	19:00	0,18	0,84	34	19:00	1,48	1,20	4		
Line PTU Bonaes ex 1	19:00	1,75	1,95	24	19:00	-45,49	4,79	169	19:00	-101	2	271	19:00	-109,4	6,2	184	19:00	-81,12	-4,8	227	19:00	-100,72	6,5	380	19:00	4,72	3,1	13				

Bulukumba, 29 Desember 2017
 Manager Tragi Bulukumba



DEW (LEPANI)

DIAGRAM PLATE



LV line on C, S, T neutral on N	HV line on R, S, T neutral on N		ON LOAD TAP CHANGER JANSEN DESIGN				NO LOAD transformer ratio
	Voltage (V)	Current (A)	Step number	Contact R connection tap number	X connected to C	ratio	
10000	10000	10000	1	1	→	10000/10000	
10000	10000	10000	2	2	→	10000/10000	
10000	10000	10000	3	3	→	10000/10000	
10000	10000	10000	4	4	→	10000/10000	
10000	10000	10000	5	5	→	10000/10000	
10000	10000	10000	6	6	→	10000/10000	
10000	10000	10000	7	7	→	10000/10000	
10000	10000	10000	8	8	→	10000/10000	
10000	10000	10000	9	9	→	10000/10000	
10000	10000	10000	10	10	→	10000/10000	
10000	10000	10000	11	11	→	10000/10000	
10000	10000	10000	12	12	→	10000/10000	
10000	10000	10000	13	13	→	10000/10000	
10000	10000	10000	14	14	→	10000/10000	
10000	10000	10000	15	15	→	10000/10000	
10000	10000	10000	16	16	→	10000/10000	
10000	10000	10000	17	17	→	10000/10000	
10000	10000	10000	18	18	→	10000/10000	
10000	10000	10000	19	19	→	10000/10000	
10000	10000	10000	20	20	→	10000/10000	
10000	10000	10000	21	21	→	10000/10000	
10000	10000	10000	22	22	→	10000/10000	
10000	10000	10000	23	23	→	10000/10000	
10000	10000	10000	24	24	→	10000/10000	
10000	10000	10000	25	25	→	10000/10000	
10000	10000	10000	26	26	→	10000/10000	
10000	10000	10000	27	27	→	10000/10000	
10000	10000	10000	28	28	→	10000/10000	
10000	10000	10000	29	29	→	10000/10000	
10000	10000	10000	30	30	→	10000/10000	
10000	10000	10000	31	31	→	10000/10000	
10000	10000	10000	32	32	→	10000/10000	
10000	10000	10000	33	33	→	10000/10000	
10000	10000	10000	34	34	→	10000/10000	
10000	10000	10000	35	35	→	10000/10000	
10000	10000	10000	36	36	→	10000/10000	
10000	10000	10000	37	37	→	10000/10000	
10000	10000	10000	38	38	→	10000/10000	
10000	10000	10000	39	39	→	10000/10000	
10000	10000	10000	40	40	→	10000/10000	
10000	10000	10000	41	41	→	10000/10000	
10000	10000	10000	42	42	→	10000/10000	
10000	10000	10000	43	43	→	10000/10000	
10000	10000	10000	44	44	→	10000/10000	
10000	10000	10000	45	45	→	10000/10000	
10000	10000	10000	46	46	→	10000/10000	
10000	10000	10000	47	47	→	10000/10000	
10000	10000	10000	48	48	→	10000/10000	
10000	10000	10000	49	49	→	10000/10000	
10000	10000	10000	50	50	→	10000/10000	

JEUMONT SCHNEIDER TRANSFORMATEURS

GRUPE SCHNEIDER

TRANSFORMER

Year Number Type of winding

Frequency Hz Number of phases Specification

Substation I.P.S. J.P.T.

Material I.S.C. Temperature class

HIGH VOLTAGE

LOW VOLTAGE

V V V

STABILIZING TERTIARY

V V

INSULATION LEVELS

LV kV HV kV

NEUTRAL kV kV

TAPING CHARACTERISTICS

TAP	VOLTAGE VOLTS	CURRENT AMPERES	LV	NO LOAD VA	NO LOAD WATTS
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

TAP	Impedance	NO LOAD
<input type="text"/>	<input type="text"/> %	<input type="text"/> VA
<input type="text"/>	<input type="text"/> %	<input type="text"/> VA
<input type="text"/>	<input type="text"/> %	<input type="text"/> VA

Factor drive Transformer to

Total weight kg

Transportable weight kg

Weight of oil kg

Core and parts kg

Shipping weight kg

DOKUMENTASI



Gambar 1. Unit pelayanan Transmisi UPT Sulselrabar Transmisi dan Gardu Induk Bulukumba



Gambar 2. Transfrmator 20MVA GI Bulukumba



Gambar 3. Pengukuran I_N (Arus Netral)



Gambar 4. Interview Sebagai Pembanding antara Kejadian Dilapangan dan Sumber Data di Tragi Bulukumba.